



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND
VEHICLE ASSESSMENT

ANALÝZA BĚHU HNACÍHO ÚSTROJÍ VOZIDLA PO ÚNIKU PROVOZNÍCH KAPALIN

ANALYSIS OF THE VEHICLE POWERTRAIN AFTER LEAKAGE OF SERVICE FLUIDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vladimír Pařha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Tokař, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Vladimír Patřha
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Stanislav Tokař, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20
Ústav:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza běhu hnacího ústrojí vozidla po úniku provozních kapalin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V úvodu práce se zaměřit na problematiku provozu vozidla po úniku provozních kapalin. Naplánovat a provést vlastní experiment zaměřený na dokumentaci běhu hnacího ústrojí vozidla bez provozních kapalin. V závěru shrnout a zhodnotit získané výsledky a jejich možné využití v soudně – inženýrské praxi.

Cíle diplomové práce:

1. Provést rešerši experimentů zaměřených na běh hnacího ústrojí vozidel bez provozních kapalin.
2. Naplánovat a provést vlastní experiment zaměřený na dokumentaci běhu hnacího ústrojí vozidla bez provozních kapalin.
3. Vyhodnotit získaná data z vlastního experimentu.
4. Zhodnotit zpracovaná data a přehledně je publikovat.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- [2] VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [3] VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [4] Sborníky z odborných konferencí a EIZ

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
vedoucí odboru

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší problematiku poškození hnacích ústrojí automobilu v důsledku úniku provozní náplně. Cílem bylo objasnit závažnost poškození, případně doby, za kterou dochází k poruše. V teoretické části byla popsána problematika mazání a chlazení včetně následků za neoptimálních provozních podmínek. Vyhodnocení probíhalo na základě provedených experimentů a porovnáním s již dříve publikovanými testy. Současně byla popsána místa, kde nejčastěji dochází k poškození. Na závěr jsou formulována doporučení snižující případný rozsah poškození.

Abstract

This master's thesis deals with the issue of damage of the vehicle's drivetrain due to the operating fluid leakage. The aim of the thesis is to clarify the severity of this type of damage and, alternatively, the times during which these failures can occur. The theoretical part describes the issues of lubrication and cooling systems, including the consequences of sub-optimal operating conditions. The evaluation is based on conducted experiments and is compared with already published tests. The parts that are most often damaged are also described. Finally, the recommendations for lowering the extent of damage are formulated.

Klíčová slova

poškození motoru; zadření motoru; motor bez oleje; přehřátí motoru; poškození převodovky

Keywords

engine damage; blown engine; engine without oil; engine overheating; gearbox damage

Bibliografická citace

PAŤHA, Vladimír. *Analýza běhu hnacího ústrojí vozidla po úniku provozních kapalin* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120290>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel, 2020, 81s. Vedoucí práce Stanislav Tokař.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza běhu hnacího ústrojí vozidla po úniku provozních kapalin jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Podpis autora

Poděkování

Poděkování patří lidem, na které jsem se mohl obrátit v těžkých chvílích během studia i mimo něj. Dále všem zaměstnancům ÚSI VUT v Brně za vydané úsilí a za umožnění studovat, zvláště v této obtížné době.

Poděkování patří též Ing. Stanislavu Tokařovi Ph.D, za vedení diplomové práce.

Veliké poděkování musím vyjádřit rodině, která za mnou stála v úspěšných, ale především i v obtížných chvílích.

OBSAH

ÚVOD	11
1 MAZACÍ SOUSTAVA POHONNÉHO ÚSTROJÍ AUTOMOBILU	12
1.1 Tření	12
1.2 Mazací systémy.....	14
1.2.1 Tlakové oběžné mazání s mokrou skříní.....	15
1.2.2 Tlakové oběžné mazání se suchou skříní.....	16
1.2.3 Olejová čerpadla a čističe oleje.....	17
1.2.4 Typy čističů oleje.....	19
1.3 Mázání důležitých součástí pohonného ústrojí	22
1.3.1 Motorové oleje.....	23
1.3.2 Převodové oleje.....	29
2 CHLADÍCÍ SOUSTAVA POHONNÉHO ÚSTROJÍ AUTOMOBILU	31
2.1 Hlavní části chladicí soustavy.....	32
2.1.1 Chladicí kapaliny	34
3 TRIBOLOGIE A TRIBODIAGNOSTIKA.....	35
3.1 Tribotechnická diagnostika.....	35
3.2 Mobilní metody tribotechnické diagnostiky.....	36
4 NÁSLEDKY PROVOZU BEZ PROVOZNÍCH KAPALIN.....	38
4.2 Poškození motoru při nedokonalém mazání.....	41
4.2.1 Vliv absence olejové náplně na teplotu motoru	46
4.3 Poškození motoru při nedokonalém chlazení.....	51
5 EXPERIMENTY PROVEDENÉ ÚSI VUT.....	56
5.1 Škoda Octavia	56
5.1.1 Průběh testu Škoda Octavia.....	58
5.1.2 Následky opotřebení.....	59
5.2 Honda Civic.....	63
5.2.1 Průběh testu Honda Civic.....	64
5.2.2 Následky opotřebení.....	65
5.3 Alfa Romeo 147	66
5.3.1 Průběh testu Alfa Romeo 147.....	68
5.3.2 Následky opotřebení.....	69
5.4 Nissan Sunny	71
5.4.1 Průběh testu Nissan Sunny	72

5.4.2	<i>Následky opotřebení</i>	73
6	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE.....	74
	ZÁVĚRY	80

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1

PŘÍLOHA 2

ÚVOD

Neustálý technologický vývoj, který je v dnešní době spojen především s automobilovým průmyslem se nevyhýbá ani oblasti pohonných a převodových ústrojí. Komponenty moderních automobilů jsou vyráběny s důrazem na co nejvyšší přesnost vzhledem k užité hodnotě. Tento tlak na kvalitu zpracování jednotlivých dílů je vyvíjen především z ekonomických a environmentálních aspektů. Lze to chápat například tak, že přesně vyrobená pístní skupina bude vykazovat vyšší účinnost transformace chemické energie na mechanickou. Čímž bývá docíleno menší spotřeby pohonných hmot a nižších emisí nežádoucích látek. Je nutné mít na paměti, že pro dokonalou funkci pohyblivých součástí je bezpodmínečně nutné zajistit optimální provozní teplotu, ale především zamezit vzniku suchého případně polosuchého tření, kdy není vytvořen souvislý olejový film.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou, kdy tyto optimální podmínky splněny nejsou. Především poškozením hnacích ústrojí, kdy dojde k úniku provozních kapalin, zejména motorového oleje a chladicí kapaliny. Ať už vznikem vnějších poškození či úmyslným vyprázdněním provozní náplně. Kdy může být zjevná závada pohonného ústrojí zamaskována např. za účelem, zisku pojistné plnění. Hlavní motivace pro sepsání této diplomové práce byla snaha objasnit následky, opotřebení a chování pohonného ústrojí po úniku provozních kapalin. Z toho vyplývající případná charakteristická poškození či destrukce jednotlivých komponentů.



Obr. 1 Zážehový motor z Porsche 911 [1]

1 MAZACÍ SOUSTAVA POHONNÉHO ÚSTROJÍ AUTOMOBILU

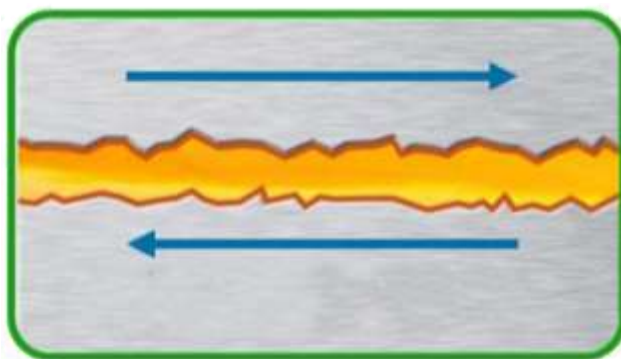
Prvořadým úkolem mazacího systému automobilu je vytvořit souvislý olejový film mezi dvěma pohybujícími se součástmi. Mazivo musí být soustavně dodáváno ke všem pohybujícím se součástem tak, aby nenastal mezní stav suchého tření. Běžná maziva jsou rafinována z ropy. Ta obvykle tvoří základ většiny olejů minerálních i syntetických. Takto zpracovaná ropa je zbavována všech nežádoucích sloučenin, která mohou způsobit degradaci oleje. Základový minerální olej je získáván závěrečným dočištěním. Se vzrůstajícím litrovým výkonem spalovacích motorů jsou využívány výkonnější druhy olejů, které jsou využívány tam, kde standardní minerální oleje selhávají. Například hydrokrakované oleje, syntetické oleje a oleje na bázi polyalfaoleinů a esterů. [2] [3]

Jedním z důležitých parametrů pro vhodné použití oleje pro daný motor je viskozita, která je volena dle konstrukčního provedení daného motoru, respektive jeho provozních vůlí a klimatických podmínek, ve kterých je vozidlo používáno. Základní předpoklad správně zvolené viskozity je následující. Viskozita musí odpovídat průtokové rychlosti oleje k důležitým součástem s přihlédnutím na požadavek chlazení. Příliš viskózní olej neprotéká dostatečně rychle a zhoršuje přenos tepla, což se negativně popisuje na zhoršené účinnosti chlazení. V dnešní době již standardně používané vícerozsahové oleje označované jako „multigrade“ obsahují modifikátory viskozity. Takový olej se za chladného počasí chová jako olej o nízké viskozitě, a naopak ve vysokých teplotách jako olej více viskózní. [2] [3]

1.1 TŘENÍ

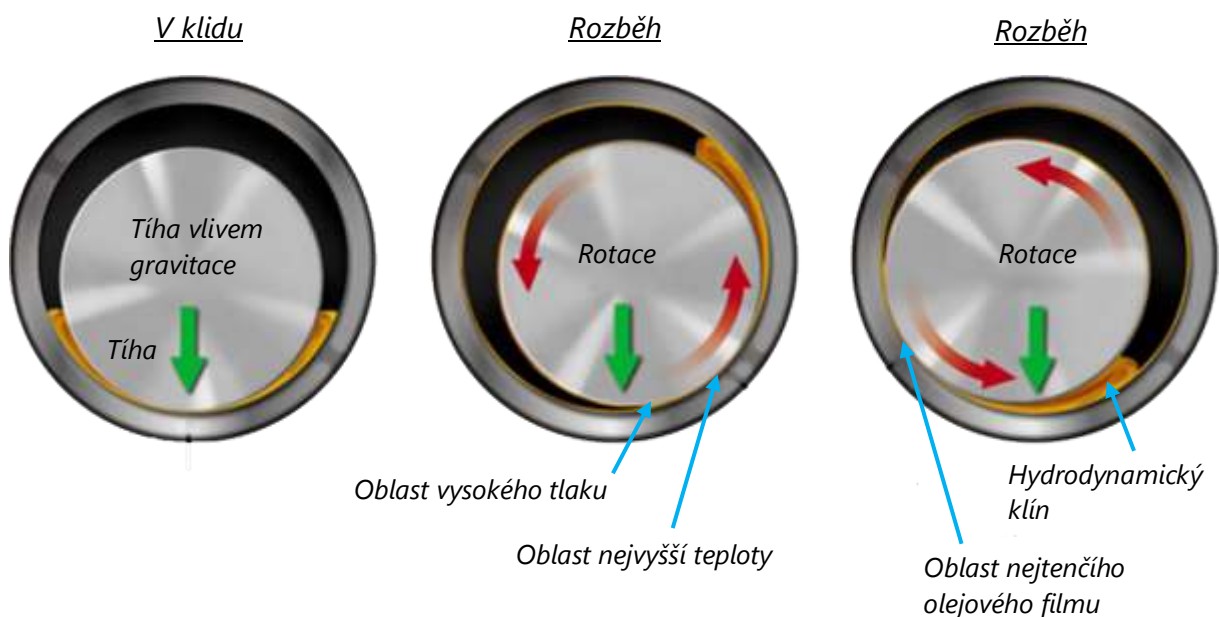
Při chodu spalovacího motoru jsou stykové plochy vystaveny tření. V optimálním případě se jedná o tření kapalinové též nazývané jako hydraulické. Třecí plochy bývají oddělovány vrstvou olejového filmu. Často však může nastat mezní stav, kdy kapalinové tření přechází v polosuché tření. Při polosuchém tření dochází k interakci výstupků nerovností třecích ploch povrchů, což značí nežádoucí stav. [4]

 **Kapalinové tření** je dosaženo, pokud při vzájemném pohybu jednotlivých třecích ploch dochází k současnému dodávání oleje požadovaným tlakem. Na **Obr. 2** je znázorněno schéma kapalinového mazání, kde je patrné oddělení dvou pohybujících se ploch vrstvou olejového filmu. V případě pohybující se ho hřídele v ložisku dochází k vytvoření takzvaného hydrodynamického klínu. Jeho velikost je přímo úměrná velikosti odstředivé síly rotující součásti a tlaku přiváděného oleje. Současně, vlivem rotace je vystředěna osa rotujícího hřídele a osa ložiska viz **Obr. 3** (na následující straně). Vznikne tak dokonalá koaxiálnost dvou strojních



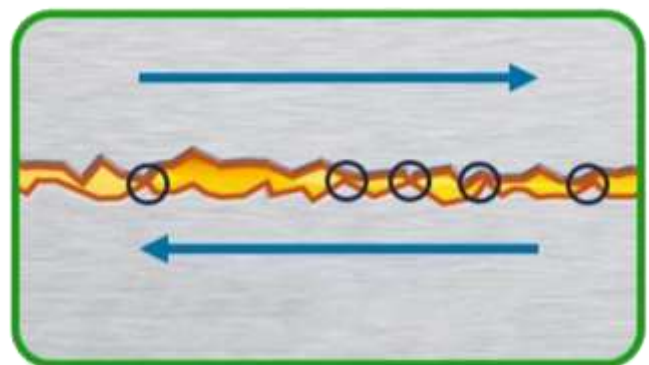
Obr. 2 Kapalinové tření [7]

součástí. (kliková hřídel, vačková hřídel vs. ložiska). Jde o optimální stav pro součásti s kluzným pohybem. Je zajištěna velká trvanlivost kluzných povrchů nedovolující vznik opotřebení, malou ztrátu energie a vysokou provozní bezpečnost. Zaručit kapalinné tření lze jen do určité mezní rychlosti, při optimální dodávce maziva a při správném provedení kluzných součástí. Zároveň je nutné zvolit správnou viskozitu, typ maziva a optimální tlak. Únosnost mazací vrstvy hydrodynamického mazání je silně ovlivněna viskozitou oleje. Ta nesmí být příliš nízká, to znemožňuje vytvoření souvislého mazacího filmu, zároveň ani příliš vysoká. S nárůstem viskozity vznikají hydraulické ztráty kapalinového tření, které se projeví lokálním zvýšením teploty a snížením mechanické účinnosti. Olej jako takový není ideální tepelný vodič a chladicí médium. [5] [6] [7]



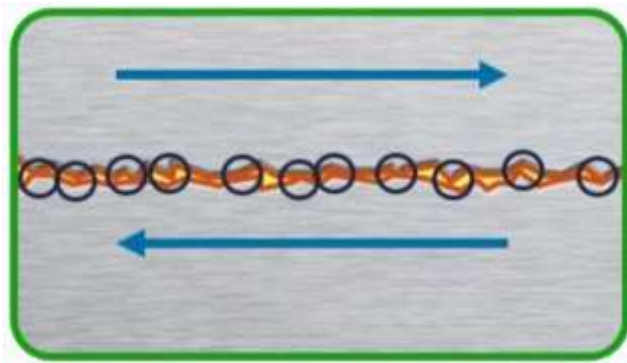
Obr. 3 Princip hydrodynamického mazání [5]

✚ **Mezní a polosuché tření** se vyskytuje na všech třecích plochách, které nejsou mazány tlakovým olejem. Může nastat provozní režim, kdy dochází k meznímu až polosuchému tření i v případě součástí tlakově mazaných. Zejména při rozběhu a doběhu motoru, kdy vzájemná rychlost dvou povrchů není dostatečná pro vytvoření hydrodynamického klínu. Olejové čerpadlo není schopno dodávat potřebné množství oleje. Na **Obr. 4** jsou jasně patrná místa, kde dochází ke kontaktu nerovností dvou pohybujících se ploch. Z hlediska konstrukce je tento nežádoucí jev uvažován a ložiskové pánve jsou uzpůsobeny krátkodobému zvýšenému teplu vzniklému při mezním tření. [5] [6] [7]



Obr. 4 Mezní, polosuché tření [7]

✚ **Suché tření** je pro pohybující se součásti nepřijatelné z důvodu velké ztráty mechanické energie vlivem zadírání kluzných povrchů viz **Obr. 5**. Kluzné části musí být vždy mazány za účelem dosažení kapalného, smíšeného nebo mezního tření. Typ tření je silně ovlivněn velikostí kluzné rychlosti. V případě valivého pohybu je vyskytující se suché tření znatelně menší. Není příliš ovlivňováno mazacími podmínkami a rychlostí valivého pohybu. Mazání součástí s valivým pohybem má význam především z důvodu zmenšení doprovodného kluzného tření a rovnoměrného přenosu zatížení ve stykových plochách. Při suchém tření vzniká jistá forma opotřebení, to sebou přináší sníženou provozní bezpečnost. Velikost ztrát a opotřebení závisí stejně jako v případě kapalného tření na provedení, druhu materiálu, textuře povrchu a provedeném mazání. [5] [6] [7] [8]



Obr. 5 Suché tření [7]

Pro dokonalé mazání je nutné zajistit tři zásadní podmínky. Ty musí být zaručeny od samotného počátku konstrukce až po jeho provoz a údržbu. [6]

1. Zvolit materiál pro dané zatížení a třecí plochy vyrobit dle předpokládaného využití pro zajištění dokonalého mazání
2. Správně zvolit druh, viskozitu a množství maziva
3. Udržovat mazací systém zařízení ve výborné kondici

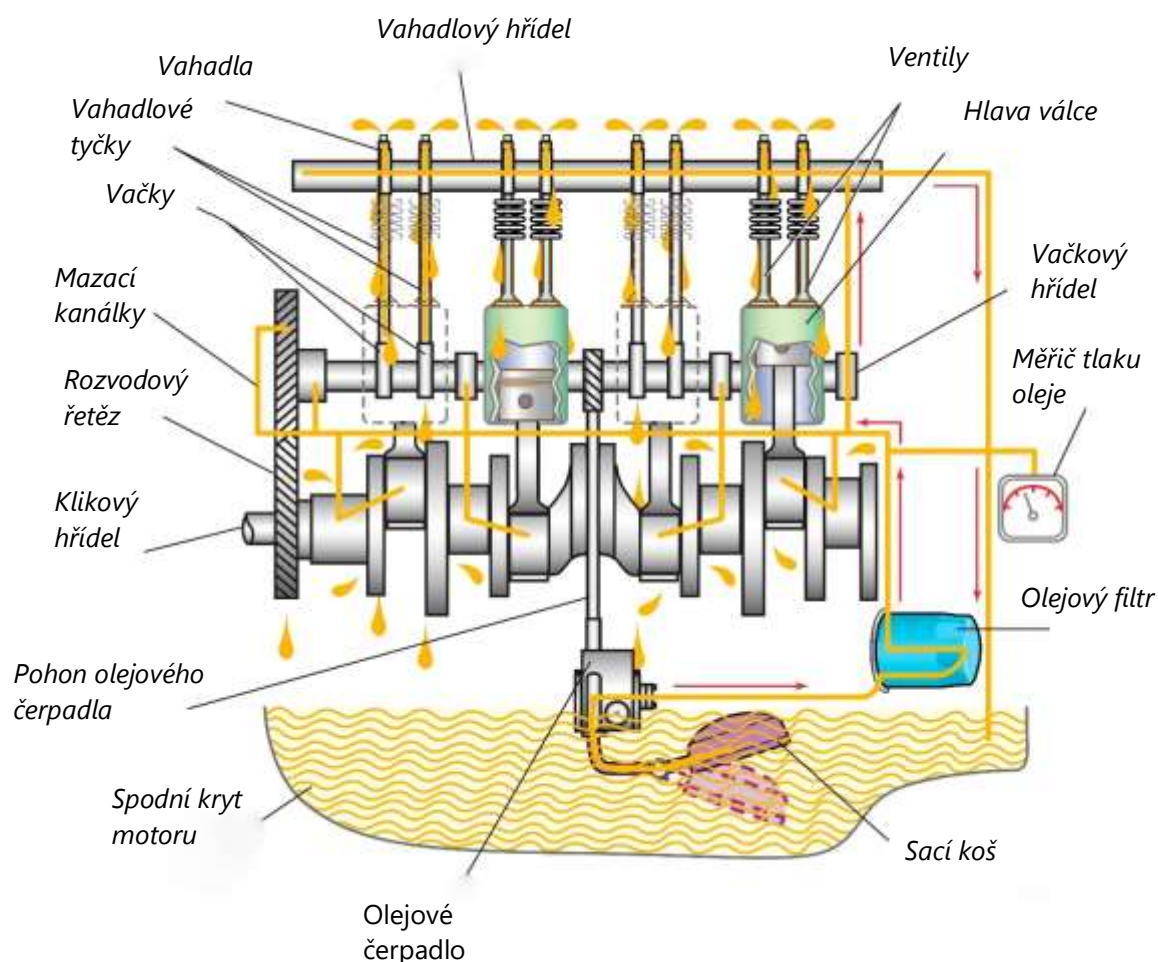
1.2 MAZACÍ SYSTÉMY

V případě automobilového motoru je již řadu let výhradně používáno tlakové mazání. Olej je na jednotlivá místa dodáván pomocí olejového čerpadla. Olej protékající olejovým čističem je distribuován mazacími kanálky ke všem důležitým součástem v motoru. Jde o takzvané oběžné mazání. Dle umístění zásoby oleje lze rozdělit na mazání s mokrou skříní a mazání se suchou skříní. [4]

Mazací systém motoru zajišťuje, aby všechny pohybující se části byly mazány olejem. Vytvořený olejový film redukuje ztráty třením a snižuje opotřebení exponovaných dílů. Současně odvádí teplo z míst, které nejsou v kontaktu s chladicí kapalinou. Zároveň těsní spalovací prostor (stěnu válce a píst s pístními kroužky). Odplavuje nečistoty vzniklé otěrem a spalovacím procesem. Současně zajišťuje antikorozi ochranu a snižuje mechanický hluk. Mazací soustava většiny motorů se skládá ze zásobníku oleje, sacího koše, olejového čerpadla s redukčním ventilem, filtrem oleje, kontrolními a signálními přístroji (tlakoměr, čidlo tlaku oleje) případně olejovým chladičem. [4] [2]

1.2.1 Tlakové oběžné mazání s mokrou skříní

Je nejčastějším typem mazání spalovacích motorů vozidel určených pro jízdu na zpevněných komunikacích. Zásoba oleje je umístěna ve spodním víku motoru, které je vyrobeno z lisovaného plechu nebo z hliníkové slitiny. Schéma mazací soustavy s mokrou skříní je zobrazeno na **Obr. 6**. Spodní víko motoru zároveň sloužící i jako olejový chladič. Ke kontrole množství maziva slouží olejová měrka s ryskou a elektrické čidlo, signalizující nedostatek oleje na základě jeho tlaku. Informace je signalizována ukazatelem na přístrojové desce. V nejspodnější části motoru je umístěno olejové čerpadlo se sacím košem, který slouží jako hrubý čistič oleje (sítový čistič). Olejové čerpadlo může být poháněno ozubeným soukolím nebo článkovým řetězem od klikového ústrojí. Ze zásobárny oleje ve spodním víku motoru, je olej nasáván olejovým čerpadlem přes sací koš do mazacích kanálků v bloku motoru. Hlavní mazací kanál je veden v rovnoběžné ose s klikovým hřídelem. Od hlavního mazacího kanálku je veden rozvod vedlejších kanálků, které přivádějí olej na hlavní uložení klikového hřídele a na ojnicí čepy. Dále pak k vačkovému hřídeli, vahadlům a zdvihátkům. Současně musí být tlakové mazivo dodáváno k systému hydraulického vymezování ventilových vůlí, případně k hydraulickému napínání rozvodového řetězu či řemenu. [4], [10]

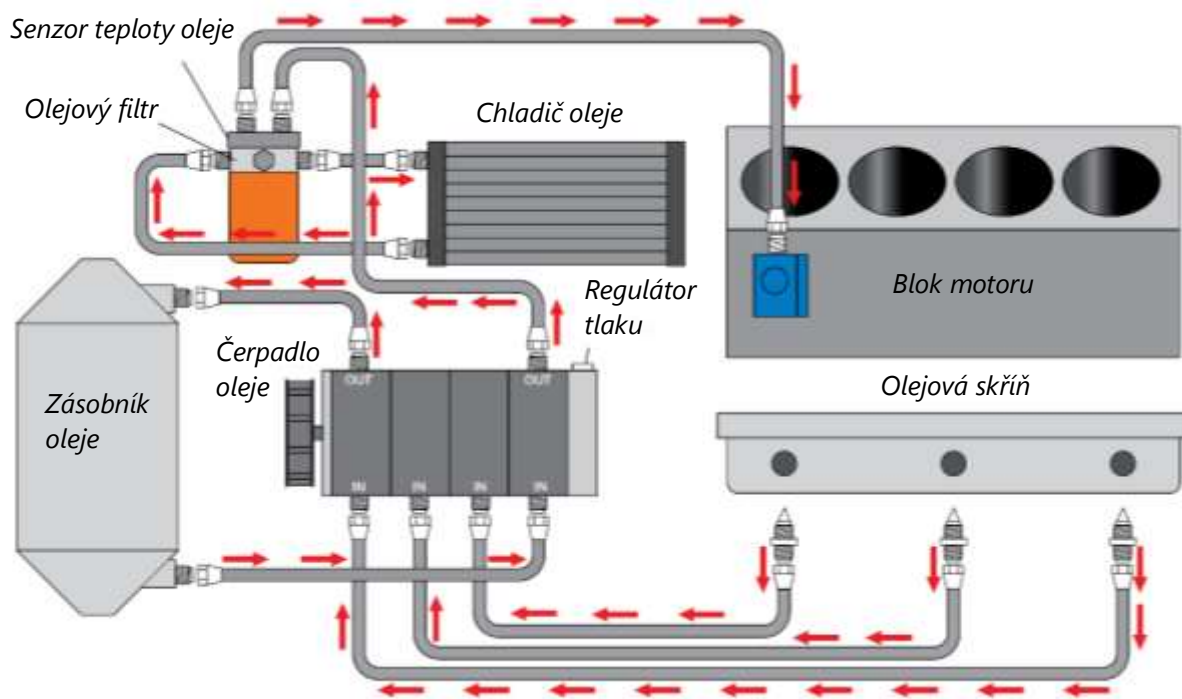


Obr. 6 Mazání s mokrou skříní [10]

Pokud je zanedbávána výměna olejové náplně často vznikají karbonové úsady, které se usazují ve spodním víku motoru. Zvláště v oblasti sacího koše. Pokud dojde k nadměrnému znečištění sacího koše úsadami, znatelně klesá mazací výkon, to má za následek zvýšené opotřebení. V krajním případě nastává zadření pohybujících se součástí v motoru včetně olejového čerpadla. Pokud je olej příliš viskózní z hlediska jeho parametrů, případně vlivem okolní nízké teploty. Hrozí nebezpečí poškození těsnících hřídelových kroužků vlivem vysokého tlaku. Tlak je nutno omezit pomocí pojistného omezovacího tlakového ventilu. Ventil bývá umístěn bezprostředně za olejovým čerpadlem. [4] [9]

1.2.2 Tlakové oběžné mazání se suchou skříní

Je nejvíce používáno u motorů pracujících v náročných podmínkách, především u terénních vozidel, traktorů, sportovních vozů, motocyklů, případně pístových leteckých motorů. Na **Obr. 7** je funkční schéma mazací soustavy se suchou skříní. Hlavní výhoda mazací soustavy se suchou skříní spočívá v zajištění spolehlivého mazání kritických součástí v motoru při extrémním náklonu nebo přetížení. Zásoba oleje se nachází v samostatné nádrži. Ta je umístěna v rámu či karoserii vozidla, případně v blízkosti motoru. Motor se suchou skříní musí být vybaven olejovým čerpadlem, které je dvoustupňové, případně i vícestupňové. Motory sportovních automobilů bývají často vybaveny jedním hlavním a několika pomocnými čerpadly. První stupeň slouží k nasávání oleje ze spodního víka motoru a současně k přečerpání oleje do externí olejové nádrže. Druhý stupeň je využíván stejně jako v případě mazání s mokrou skříní. Jde o tlakové čerpadlo pro mazací soustavu. [4] [11]



Obr. 7 Mazání se suchou skříní [11]

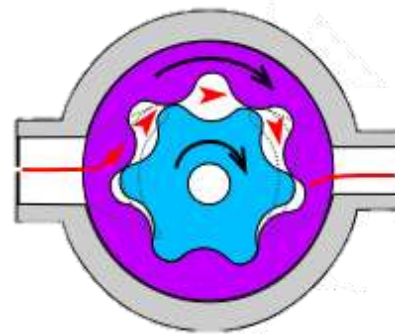
Výhody tlakového mazání se suchou skříní [4]

1. Při příliš velkém náklonu a rychlé jízdě v zatáčkách nedochází ke snižování mazací účinnosti vlivem nasátí vzduchu
2. Snižuje konstrukční výšku motoru díky absenci rozměrného spodního víka motoru
3. Olejová nádrž může být využita jako chladič oleje vzhledem k téměř libovolnému umístění
4. Olej je více ochlazován

1.2.3 Olejová čerpadla a čističe oleje

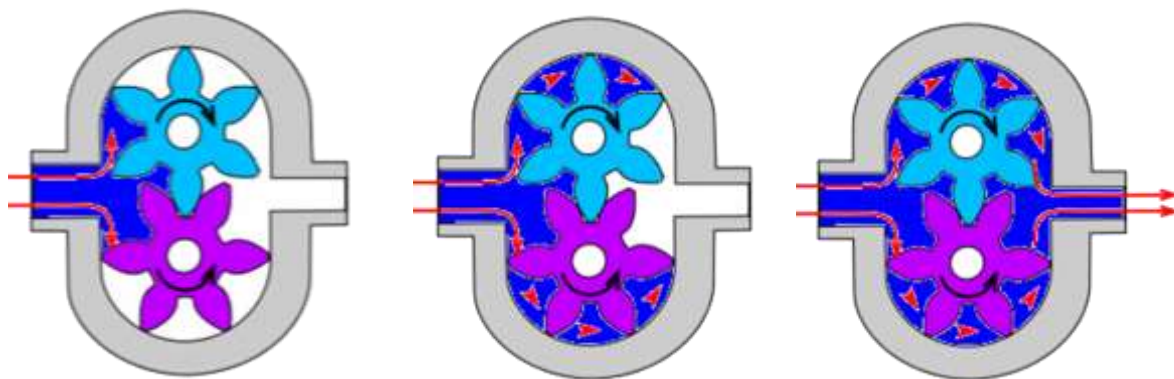
✚ **Olejové čerpadlo** též nazývané jako hydrogenerátor zabezpečuje dodávku oleje ke všem důležitým místům. Jde o nejdůležitější součást mazací soustavy. Pohon bývá zajištěn ozubeným soukolím nebo článkovým řetězem od klikového ústrojí. Olejové čerpadlo v motoru automobilu přečerpá cca 250 až 350 l za hodinu. Při teplotě 100 °C je mazací tlak v soustavě v rozmezí 0,5 až 1,5 Mpa. Pro mazání motorových a převodových skupin bývají nejčastěji používána zubová olejová čerpadla využívající k čerpání kapaliny dvojici ozubených kol. Jedná se o nejběžnější typ čerpadla, kde jako hlavní medium je využíván olej. [9] [12]

✚ **Excentrické rotační čerpadlo** viz **Obr. 8** je čerpadlo tvořeno vnitřním rotorem s vnějším ozubením a vnějším rotorem s vnitřním ozubením. Jedná se o objemový typ čerpadla. Vnější rotor obsahuje o jeden zub více než rotor vnitřní. Vnitřní rotor je poháněn. Otáčením vnitřního rotoru dochází k unášení vnějšího rotoru, tím je vytvářen pracovní prostor tvořený mezerou mezi jednotlivými zuby. Pracovní prostor (mezera) se periodicky zvětšuje a zmenšuje. Dochází tak k nasávání a vytlačování oleje. [9] [12]



Obr. 8 Excentrické zubové čerpadlo [12]

✚ **Zubové čerpadlo** je tvořeno dvěma spolu zabírajícími čelními ozubenými koly s přímým či šikmým ozubením. Nasávání oleje je vytvářeno podtlakem vznikajícím pohybem dvojice ozubených kol viz **Obr. 9** (na následující straně). Olej je čerpán do prostoru tvořeného zubovou mezerou kola a skříní olejového čerpadla. Olej je unášen v zubové mezeře ozubeného kola. Vzhledem k tomu, že pracovní prostor na výstupní straně nabývá menší objem než na straně vstupní, dochází zde k nárůstu tlaku. Pokud jsou otáčející se kola v soustavném záběru, nedochází k průsaku oleje zpět do olejové skříně. [9] [12]



Obr. 9 Klasické zubové čerpadlo [12]

✚ **Čističe oleje** zajišťují odstraňování nečistot z provozních olejů. Cílem je zabránit vniknutí částek nečistot do citlivých mazacích míst. Pronikání i velmi malých částeczek způsobí abrazivní opotřebení tří těles (cizí element mezi dvěma funkčními plochami). Jde o velmi nebezpečný jev. Tomuto druhu opotřebení neodolávají ani tvrzené materiály. Místo původu především mechanických nečistot je otěr pohybujících se součástí. Válec s pístem a pístními kroužky. Kompozice ložisek klikového hřídele. Vahadla a vačky. Dále jsou filtrovány prachové částice pronikající do olejové náplně při zanedbané údržbě vzduchového filtru. Ale především karbonové usazeniny vzniklé nedokonalým spalováním či přehříváním a následným uhelnatěním motorového oleje. [13] [14]

Kvalitní olejový filtr může zabránit předčasnému znehodnocení olejové náplně. Musí být schopen zajistit zachycení nečistot velikosti větší, než je 5 mikronů. Olejový filtr v součinnosti s motorovým olejem plní především následující funkce. [15]

1. Slouží jako olejový chladič, přejímá teplo z motorového oleje.
2. Zajišťuje filtraci oleje od nežádoucích nečistot. Jde především o saze a kovové částice vzniklé provozem spalovacího motoru.

V případě olejového filtru je čistící prostředek upravený filtrační papír. Jeho parametry musí být v souladu s technickými vlastnostmi motoru. Filtry jsou vyráběny tak, aby jejich průtočný odpor nebyl příliš veliký. Pro jemné čištění se jeví jako ideální hvězdicovité papírové filtrační vložky nebo vložky z jemných vláken. Pro olejový filtr existují dvě kritéria, která ovlivňují filtrační výkon a jeho cenu. [15]

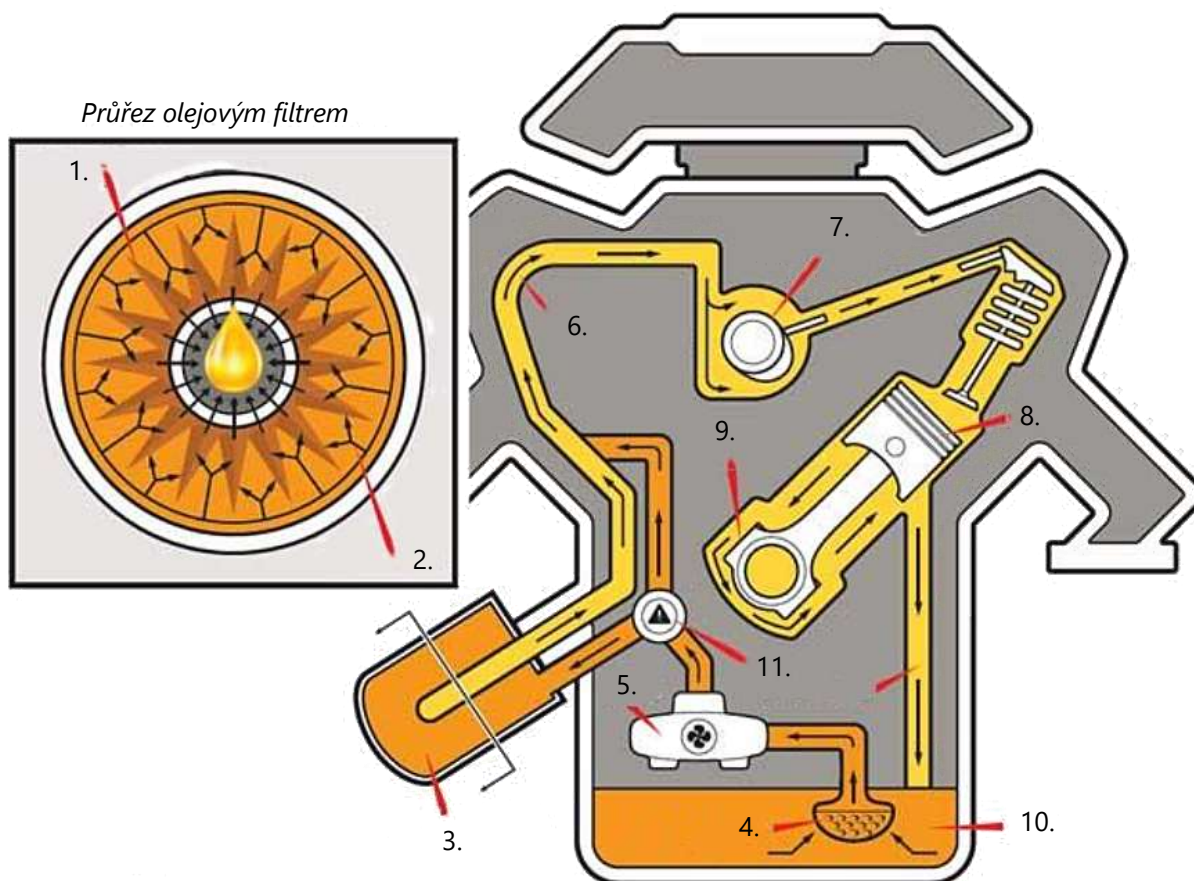
1. Kapacita pro zachycení nečistot
2. Účinnost zachycení

Obě tyto vlastnosti jsou zkoumány při zkoušce dle ISO 4548-12 [15]

Na **Obr. 10** (na následující straně) je zobrazeno schéma umístění olejového filtru v mazací soustavě s mokrou skříní. Nevhodně zvolený olejový filtr nebo nekvalitně vyrobený filtr s použitým silným filtračním papírem nemá příliš velkou životnost. Nestandardní olejové filtry obsahují bezpečnostní ventil otevírající při nižším tlaku, to způsobí vniknutí nečistot do mazacího systému motoru viz **Obr. 10 č.11**.

V kritickém případě, kdy olej není filtrován mohou nezachycené částice znemožnit dostatečný průtok mazacími kanálky. Dojde k totálnímu poškození motoru. Dále nekvalitní tzv. ventil proti zpětnému toku způsobí ztečení oleje do klikové skříně. S tímto jevem je spojen nedostatek mazacího tlaku při startu v důležitých částech motoru viz **Obr. 10 č. 7,8,9**. Olejové čerpadlo musí nejprve naplnit olejní filtr až následně zajistit mazací tlak v motoru. Při delším odstavení vozidla především v chladném období, může dojít k signalizaci nedostatku mazacího tlaku oleje na přístrojové desce automobilu. [15]

- | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 1. Filtrační vložka | 5. Olejové čerpadlo | 9. Ložiska |
| 2. Průtok oleje | 6. Mazací kanálek | 10. Zásoba oleje |
| 3. Olejový filtr | 7. Váčkový hřídel | 11. Bezpečnostní ventil |
| 4. Sací koš | 8. Píst | |



Obr. 10 Schéma mazací soustavy s olejovým filtrem [15]

1.2.4 Typy čističů oleje

Dle základního konstrukčního provedení rozdělujeme filtry na plnoprůtokové a obtokové.

Obtokové filtry dokážou v jeden okamžik vyčistit pouze část oleje. Při čištění oleje obtokovým čističem je vyčištěna pouze část oleje, která ztekla zpět do klikové skříně. Celý objem olejové náplně je

čištění postupně, pomaleji zato intenzivně. Pokud dojde k zanesení filtru, začne k mazaným místům proudit nevyčištěný olej. Obtokové čističe jsou vybaveny papírovou/textilní vložkou určenou k výměně. Tlakový spád nezanesené filtrační vložky je udáván v rozmezí 0,02 – 0,03 MPa. S optimální filtrací do 10 µm. Je nutné mít na paměti, že částečně zanesená filtrační vložka může vykazovat lepší filtrační parametry než vložka nová a však s rizikem protržení nebo dodávky znečištěného oleje do mazaných míst. [16] [9] [15]

 **Plnoprůtokové filtry** jsou konstruované jako nerozebíratelné. Filtr je tvořen tělesem čističe se závitem určeným k montáži na přívod tlakového oleje vyrobeného nejčastěji z ocelového plechu. Plechový obal je pevně spojen s čisticí vložkou. Pro kritický případ, kdy hrozí riziko zanesení filtru, znemožnění průtoku oleje, protržení vložky a uvolnění nečistot do mazacího systému je filtr vybaven tzv. bezpečnostním ventilem. Ten je otevřen při překročení daného tlaku. Je nutné mít na paměti, že po otevření obtokového ventilu proudí olej k mazaným místům, ale nevyčištěný. Jako nejpoužívanější typ plnoprůtokového filtru používaného ve spalovacích motorech se řadí kazetový filtr nazývaný též SPIN-ON zobrazený na



Obr. 11 Plnoprůtokový filtr typu SPIN-ON [15]

Obr. 11. Mezi jeho hlavní výhody patří velmi snadná výměna opotřeбенého

filtru, kde je výměna provedena pouhým vyšroubováním a následným zašroubováním nového filtru na přívod oleje. Vzhledem ke konstrukci jeho vnějšího obalu z lisovaného plechu vykazuje dobrou odolnost proti poškození. V neposlední řadě ve srovnání s obtokovými filtry vykazuje vynikající filtrační parametry. Filtrační parametry jednotlivých kazetových filtrů mohou být odlišné. Proto je nutné dbát zvýšené pozornosti při jejich výběru. [16] [9] [15]

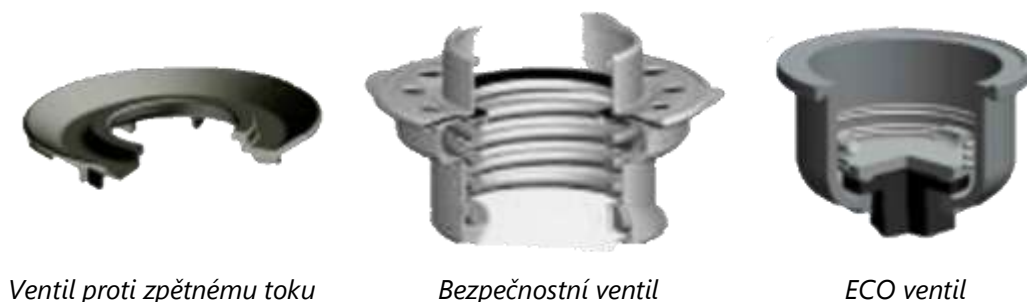
Zvláštní pozornost je třeba věnovat ventilům, jenž se nacházejí uvnitř filtru a zajišťují jeho správnou funkci. V kazetových filtrech se nacházejí tři typy ventilů. Ventily v olejových filtrech typu SPIN-ON jsou zobrazeny na **Obr. 12** (na následující straně). Jejich použití se odvíjí od konstrukce filtru pro daný motor nebo typ vozidla [17]

➤ Ventil proti zpětnému toku (Anti-drainback Valve) je tvořen gumovou membránou, která přiléhá k vnitřní straně krytu kazetového filtru. Membrána zakryje otvory pro přívod oleje (znečištěný olej). Úkolem ventilu proti zpětnému toku je zabránit vytečení oleje po vypnutí motoru. Tento ventil je nutný pro

filtry, které se osazují na motor shora, případně z boku, tak aby vlivem gravitace nedošlo k úniku oleje a potřísnění motorového prostoru motorovým olejem. [17]

➤ Bezpečnostní ventil (Bypass Valve) je osazován jako pojistný. Pokud dojde k zanesení filtru vlivem nedodržení intervalu výměny, případně vlivem vysoké viskozity za nízké teploty. Bezpečnostní ventil je otevřen, pokud není zajištěn dostatečný průtok. Bezpečnostní ventil je otevřen na základě nárustu tlaku s cílem zprůchodnit proudění oleje v motoru. Především v případě, kdy hrozí riziko nedostatečného mazání jednotlivých dílů, které spolu přicházejí do kontaktu. Činnost bezpečnostního ventilu je založena na skutečnosti, že znečištěný olej je pro motor vždy lepší než žádný olej. [17]

➤ ECO ventil (Anti-syphon Valve) svou funkcí je podobný ventilu proti zpětnému toku a zabraňuje vytékání oleje z filtru po vypnutí motoru. Rozdíl spočívá v umístění filtru. ECO ventil je umístěn na výstupní straně filtru (čistý olej). Filtr je neustále naplněn olejem nezávisle na chodu motoru. Jeho výhoda spočívá ve snížení doby provozu bez oleje. Předchází vzniku suchého tření mezi jednotlivými díly, díky rychlé distribuci oleje k mazaným místům. Olejové čerpadlo nemusí prvořadě plnit olejový filtr a následně dopravovat olej k mazaným místům, pokud je ve filtru zásoba oleje. [17]



Ventil proti zpětnému toku

Bezpečnostní ventil

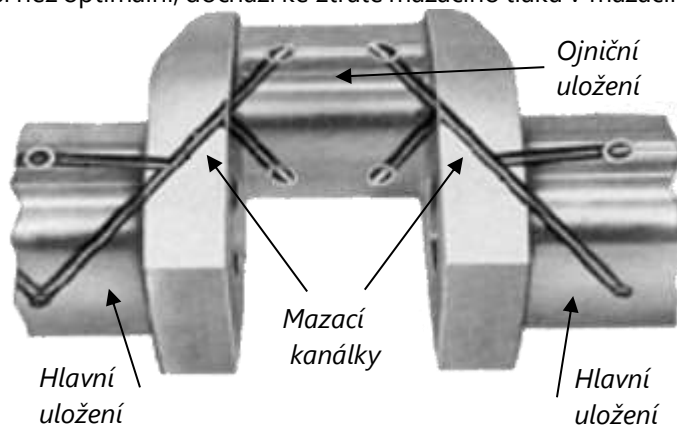
ECO ventil

Obr. 12 Ventily v olejových filtrech typu SPIN-ON [17]

✚ Další typy čističů, které jsou využívány, patří takzvané odstředivé obtokové čističe. Ty vykazují velmi dobré čistící parametry. Čistič pracuje na principu odstředivky. Rotor odstředivého čističe se otáčí velkou rychlostí, kde vlivem odstředivé síly dochází k usazování nečistot ve formě zahuštěné vrstvy na stěně rotoru čističe. Čištění odstředivého čističe spočívá v odstranění vnějšího krytu, kompletním rozebrání rotoru a vymytí nečistot v technické kapalině. Při následné montáži je nutné věnovat pozornost správnému sestavení rotoru, především lícování rysek na těle a víku rotoru z důvodu vyvážení. V porovnání s jinými typy filtrů, kde dochází k výměně celého filtračního materiálu je čištění odstředivého čističe znatelně náročnější. V praxi bývá tato operace usnadňována vložením například těsnícího papíru do vnitřku rotoru. Při následující údržbě dojde pouze k odstranění papíru i s nánosem nečistot. Tato úprava je však neschválená a může se negativně projevit na vyváženosti rotující součásti. [16] [9]

1.3 MÁZÁNÍ DŮLEŽITÝCH SOUČÁSTÍ POHONNÉHO ÚSTROJÍ

✚ **Mazání klikového hřídele** nastává po nasátí motorového oleje olejovým čerpadlem a dopravě maziva k důležitým částím na klikovém hřídeli. Hlavní mazací větev dopravuje mazivo do hlavních a ojnicích ložisek na klikovém hřídeli. Na **Obr. 13** je znázorněn řez klikovým hřídelem, kde jsou jasně patrné mazací kanálky, kterými je dopravován olej. Pro vznik ideálního mazacího klínu je nutné zaručit optimální mezeru mezi čepem klikového hřídele a pánví ložiska. Pokud je mezera menší než optimální, může docházet k zadírání. Pokud je provozní vůle větší než optimální, dochází ke ztrátě mazacího tlaku v mazacím systému. Jde o jednu z prvních známek naznačující opotřebení klikového hřídele a jeho uložení. Signalizace kontrolky mazání při volnoběžných otáčkách značí, úbytek mazacího tlaku v souvislosti s opotřebením klikového uložení, případně ložiskových pánví. U klikového hřídele v dobré kondici dochází k opotřebení pouze v režimu mezního mazání při rozběhu a doběhu motoru.




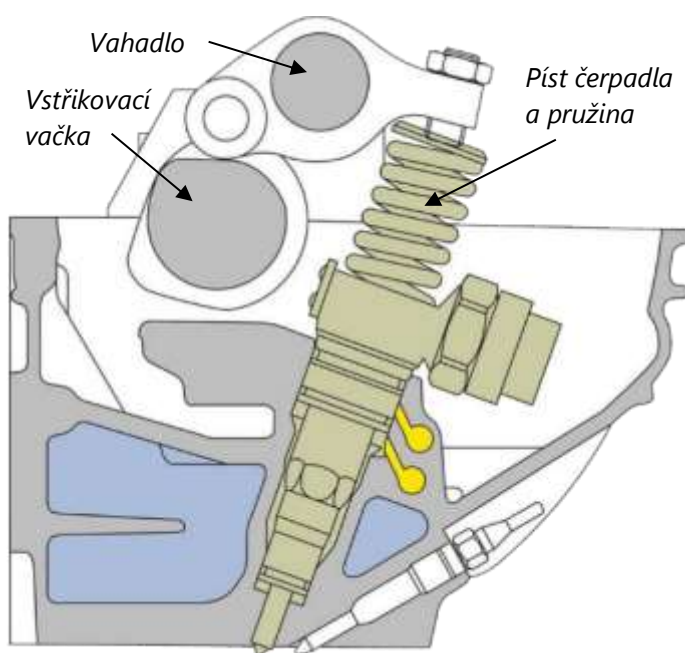
Obr. 13 Klikový hřídel v řezu [18]

Při dostatečném tlaku nastane hydrodynamické mazání. Platí přímá úměra rychlosti rotace otáčejícího se klikového hřídele a tlaku hydrodynamického mazání. Čím je rychlost větší tím větší je mazací tlak. [2] [18]

✚ **Mazání pístu** je prováděno rotujícím klikovým hřídelem, který vytváří olejovou mlhu. Případně ostříkovací tryskou, která rozstřikuje mazivo na stěny válce a pod píst, čímž zároveň dochází k chlazení pístu a pístního čepu. Toto konstrukční provedení je využíváno u pohonných jednotek s vysokým litrovým výkonem, případně motorů pracujících v náročných podmínkách pod vysokou zátěží. Ostříkovacími tryskami jsou například vybaveny vidlicové vzduchem chlazené vznětové jednotky produktové řady Tatra. Pístní čepy jsou mazány vyvrtanými mazacími kanálky v oku ojnice. Olej je dopravován tlakově z ojnicího ložiska. Proti nadbytku přebytečného oleje je čtyřdobý motor vybaven stíracími kroužky, které zabezpečují optimální velikost olejového filmu a zároveň zamezují vnikání oleje do spalovacího prostoru. Těsnící pístní kroužky zajišťují těsnost pístu ve válci a zabraňují vzájemnému pronikání látek. Především směsí vzduchu, paliva, výfukových plynů do klikové skříně a zároveň průniku oleje do spalovacího prostoru. Pokud nejsou pístní kroužky nadlimitně opotřebené dochází i zde k hydrodynamickému mazání, díky tomu je zajištěno minimální tření. V horní a spodní úvrati může docházet ke ztrátě stability olejového filmu, čímž nastává mezní tření. Těsnící kroužky jsou obvykle vyrobeny z litiny s axiálními profily zvolenými tak, aby umožnily hydrodynamické mazání. Bývají opatřeny různými povlaky aplikovanými na vnější prstenec, například na bázi chromu či molybdenu. Při mazání pístu ve válci jsou na motorový

olej kladeny dva protichůdné požadavky. Pro co nejlepší přenos tepla (dokonalejší chlazení) je vhodný co nejtenčí olejový film, to lze dosáhnout olejem o nízké viskozitě. Zde může nastat problém, kdy nízko viskózní olej při vysoké zátěži nedokáže udržet souvislý olejový film. Případně dojde k jeho přehřátí, spotřebováním aditiv a olej se stává nevhodný k mazání. Naopak příliš viskózní olej klade vyšší odpory, zvyšuje spotřebu paliva, snižuje účinnost chlazení a prodlužuje dobu potřebnou pro distribuci oleje do hlavních částí. Především v nižších teplotách. [18] [8]

 **Vačkový hřídel** je jednou z nejcitlivějších součástí na optimální mazání v motoru. Dnešní moderní automobilové motory určené k prodeji v Evropě jsou téměř výhradně vybaveny rozvody typu SOHC a DOHC. Jde o umístění vačkového hřídele v hlavě motoru. Tento rozvod je na mazání citlivější než starší koncepce typu OHV (vačkový hřídel umístěný v bloku motoru). OHV se již v nových motorech nepoužívá vyjma některých amerických výrobců. Nejznámější a zároveň poslední zástupce toho typu rozvodu známý české veřejnosti byl motor Škoda s obchodním označením 1.4 MPI koncepčně vycházející z motoru Š 781.136. Jako etalon náročnosti na mazání vačkového hřídele lze považovat přepřínovaný vznětový motor z koncernu VW s obchodním názvem TDI PD. Tento motor je vybaven elektromagneticky ovládanými sdruženými vstřikovači vyvinutý společností Robert Bosch AG s maximálním vstřikovacím tlakem 2 050 barů. Jednotky jsou umístěny v hlavě válců a přes vahadla



Obr. 14 Vstřikovací systém čerpadlo-tryska [19]

poháněny od vačkové hřídele, to vačkovou hřídel zatěžuje nesrovnatelně více než pouhé ventilové rozvody. Schéma konstrukčního provedení je zobrazeno na **Obr. 14**. Je bezpodmínečně nutné používat pouze schválený olej dle normy VW 505.01, VW 506.01. Nerespektování toho doporučení způsobí předčasně opotřebení vačkového hřídele. [19] [20]

1.3.1 Motorové oleje

Motorový olej je olejářský výrobek, jehož výroba je velice technologicky náročná. Z důvodu mnohdy protichůdných požadavků a parametrů. Konvenční motorový olej je z 80 % složen z rafinované ropy. Jde o základový olej. Zbývajících 20 % tvoří přísady zlepšující vlastnosti oleje. Zároveň jsou na trhu k dostání i syntetické oleje vyráběné z plynného etylenu získaného ze zemního plynu. Kvalita oleje se odvíjí od použité technologie výroby. Pro výběr nejvhodnějšího oleje do daného motoru z uživatelského hlediska

je závazná pouze výkonnostní třída a doporučená viskozita. Z hlediska výrobce motoru lze požadavek na olej rozdělit do pěti kategorií. [15] [31]

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| 1. tření a opotřebení | 4. Fyzikální a chemické vlastnosti |
| 2. teplota a viskozita | 5. Aplikace |
| 3. čistota | |

Kategorie 1: Tření a opotřebení [32]

- | | |
|------------------------------------|--|
| ➤ Minimalizovat tření a opotřebení | ➤ Odolávat povrchovému poškození |
| ➤ Snižovat spotřebu paliva | ➤ Zajistit přilnavost k třecím plochám |
| ➤ Vytvářet odolný olejový film | |

Kategorie 2: Teplota a viskozita [32]

- | | |
|---|---|
| ➤ Zajistit tepelnou stabilitu | ➤ Zajistit mazání za nízkých teplot |
| ➤ Odolávat oxidaci | ➤ Zajistit malou závislost viskozity na teplotě |
| ➤ Stanovit pokles viskozity za dané teploty | ➤ Zajistit mechanickou stabilitu ve stříhu |

Kategorie 3: Čistota [32]

- | | |
|---|---|
| ➤ Zajišťovat disperzní schopnosti | ➤ Zabránit vzniku studených kalů |
| ➤ Zajišťovat detergentní účinky | ➤ Odolávat vodě |
| ➤ Zamezit zapékání pístních kroužků | ➤ Snižovat usazeniny na ventilech |
| ➤ Zabránit vzniku vysokoteplotních kalů | ➤ Snižovat usazeniny ve spalovacím prostoru |

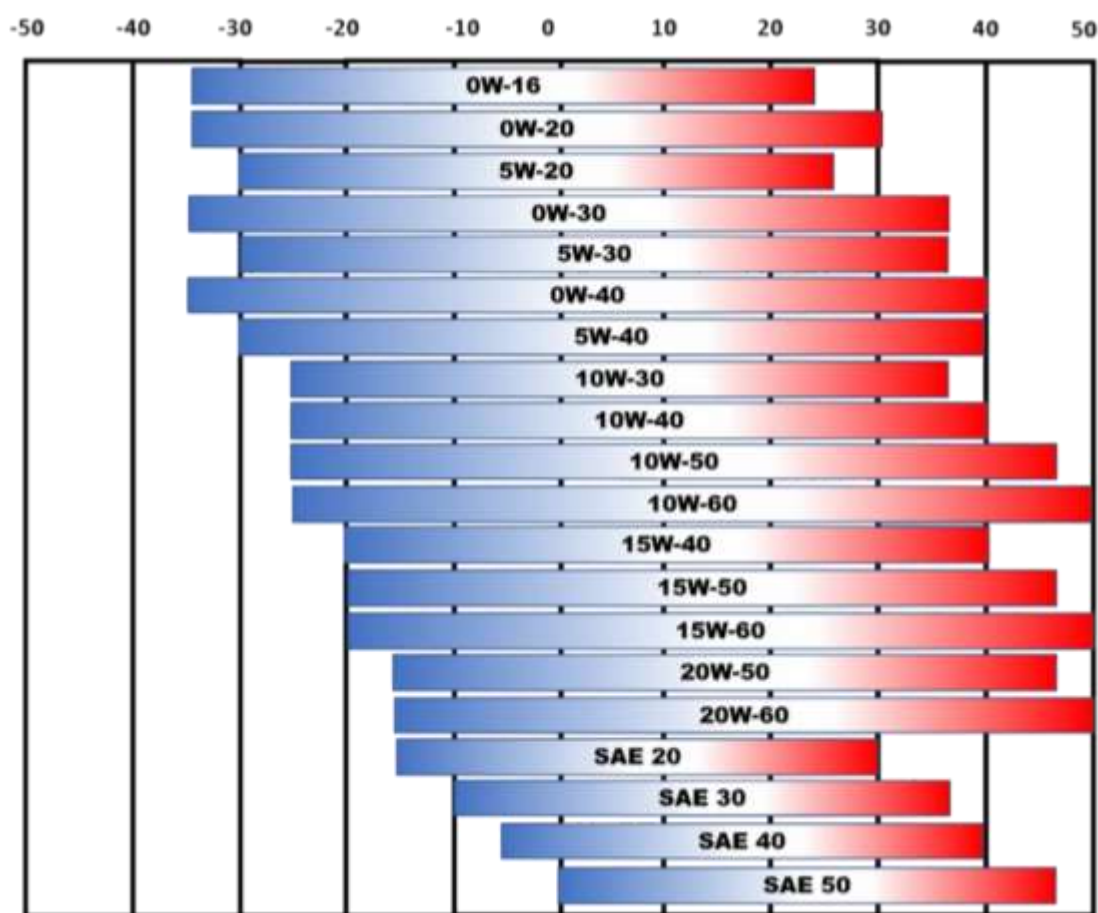
Kategorie 4: Fyzikální a chemické vlastnosti [32]

- | | |
|--|---------------------------------------|
| ➤ Chránit proti korozi | ➤ Odlučovat vzduch |
| ➤ Zajistit neutralizační vlastnosti | ➤ Zajistit těsnící schopnost |
| ➤ Zajistit tepelnou a oxidační stabilitu | ➤ Snižovat těkavost |
| ➤ Nepoškozovat neželeznými kovy a laky | ➤ Zajišťovat dobrou tepelnou vodivost |
| ➤ Nepoškozovat pryžové těsnění | ➤ Zajišťovat chladicí účinnost |
| ➤ Potlačovat pěnivost | |

Kategorie 5: Aplikace [32]

- | | |
|-------------------------------------|--|
| ➤ Mísitelnost s ostatními oleji | ➤ Zajistit širokou použitelnost |
| ➤ Zajistit záběhové vlastnosti | ➤ Minimalizovat vlivy na životní prostředí |
| ➤ Zajistit dlouhé výměnné intervaly | |


✚ **Viskozitní třída motorového oleje** a především viskozita je jedna z nejdůležitějších vlastností oleje. Viskozita neboli vazkost udává velikost vnitřního tření kapaliny. Viskozita je měřítkem tekutosti kapaliny. Olej o nízké viskozitě je tekutější, řidší s menším vnitřním odporem proti proudění a toku. Naopak vysoká viskozita oleje, způsobuje pomalejší tok a vyšší odpor. Zároveň umožňuje přenést vyšší zatížení proti vzájemnému pohybu dvou mazaných součástí. Motorové oleje jsou klasifikovány podle klasifikace SAE. Optimální volba viskozity dle okolní teploty je zobrazena na **Obr. 15**. U viskozitní specifikace vícerozsahových olejů je rozlišována zimní třída označovaná W a letní třída. Zimní viskozitní hodnota nemá žádnou souvislost s viskozitou při provozní teplotě oleje. Je určována dle hodnot nízkotep-



Obr. 15 Volba viskozitní třídy motorového oleje dle okolní teploty [34]

lotních vlastností CCS viskozity (udává startovatelnost za nízkých teplot) a dle mezní čerpatelnosti. Je nutné mít na paměti, že některé oleje, například SAE 0W-30 mohou proto být při normální teplotě viskóznější než některé oleje SAE 5W-30. Odlišnost spočívá v tzv HTHS viskozitě. HTHS v anglickém znění High Temperature High Shear. Jedná se o dynamickou viskozitu měřenou při teplotě 150°C a velkém smykovém spádu. S rostoucí viskozitou roste síla, tloušťka olejového filmu. Ne však ve smyslu pevnosti. Pokud je použit olej s příliš nízkou HTHS viskozitou dochází k porušování olejového filmu mezi dvěma třecími plochami. Není zaručeno optimální mazání. Pokud jde o letní třídu viskozity, ta je určena na základě viskozity při 100 °C. Pokud budou uvažovány oleje třídy SAE 0W-40, SAE 5W-40, SAE 10W-40 a

SAE 15W-40 měly by vykazovat stejnou viskozitu za provozní teploty při cca 100 °C. Odlišnost spočívá v zimní viskozitní třídě W. Oleje o viskozitě SAE 0W-40 v zimních obdobích bude vykazovat snadnější starty. Olej bude dříve distribuován do mazaných míst a bude poskytovat motoru vyšší ochranu při častých studených startech oproti oleji s viskozitní třídou SAE 15W-40. Tím bude snižovat předčasné opotřebení. [35] [33] [36]

 **Výkonostní třída motorového oleje** charakterizuje vlastnosti motorového oleje. Popisuje vlastnosti z hlediska aktuálního i dlouhodobého při různých formách provozní zátěže. Dochází k hodnocení vlastností, jako je oxidace, oxidační stabilita, pěnovost oleje a úspora paliva. Dále pak ochrana proti korozi válců, ložisek, ochrana proti otěru, proti tvorbě úsad za vysokých teplot a ochrana proti vzniku nízkoteplotních kalů. [35]

Výkonnostní kategorie olejů dle norem [35]

- a. klasifikace API
- b. klasifikace ACEA
- c. firemní normy výrobců motorů a vozidel (VW, MB, MAN atd.)
- d. klasifikace MIL-L
- e. jiné klasifikace (např. ILSAC)

Pro správné zvolení výkonnostní třídy oleje mají hlavní význam firemní normy výrobců automobilů a motorových jednotek. Následované mezinárodními normami klasifikovanými dle API a ACEA. Klasifikace MIL-L se uplatňuje především u nákladních a užitkových vozidel. Naopak klasifikace CCMC je již zastaralá, není příliš využívána a je uvedena především pro názornost. [35]

➤ Klasifikace API rozlišuje oleje vhodné pro vznětové motory označované C (*Commercial*) a oleje pro zážehové motory S (*Service*). Označení výkonnostní třídy dle API je dvoupísmenové, případně doplněné číslem. První písmeno udává použití pro daný typ motoru C nebo S. Druhé písmeno vyjadřuje výkonový stupeň motorového oleje. Platí čím dále je druhé písmeno v abecedě, tím je daný olej výkonnější. Dle normy API je olej často vhodný jak pro vznětové tak zážehové motory například:

- API SN/CF – olej prioritně určený pro zážehové motory, použitelný i pro vznětové motory
- API CE/SG – olej prioritně pro vznětové motory, použitelný i pro zážehové motory [38] [35]

Klasifikace API koresponduje s vývojem motorových olejů určenými pro pohonné jednotky vyrobené v USA a na americkém kontinentu. Především nové výkonnostní třídy pro nové motory v USA neodpovídají novým požadavkům výkonných agregátů určených k prodeji v Evropě. Odlišnost v požadavcích musí být zohledněna kvůli odlišné konstrukční škole. Pohonné jednotky využívané v USA jsou často velkoobjemové, atmosféricky plněné s nepřímým vstřikováním paliva. Naopak motory určené pro

evropské trhy jsou maloobjemové, přepřilňované s přímým vstřikováním paliva a vyšším litrovým výkonem. Odlišnost dále spočívá v požadavcích na čistotu spalovacího prostoru a přísad vytvářející spalováním nežádoucí popel. [38] [35]

V tabulkách **Tab. 1** a **Tab. 2** jsou popsány aktuálně platné výkonové třídy dle mezinárodní klasifikace API. V tabulkách jsou uvedeny oleje vhodné pro zážehové i vznětové motory.

Tab. 1 Aktuální výkonové třídy dle API pro zážehové motory [37] [38]

Třída	Vhodné pro zážehové motory	od r.v.
SJ	Syntetické a polosyntetické oleje (požadavky na úsporu paliva a emisní limity).	1996
SL	Překonávají třídu SJ (úspora paliva, prodloužené výměnné intervaly).	2001
SM	Překonávají třídu SL zvýšenou oxidační stabilitou, vyšší ochranou proti opotřebení a tvorbě úsad.	2004
SN	SN zaručuje vyšší ochranu turbodmychadla a motoru provozovaném na ethanol E85. Snižuje spotřebu paliva a splňuje vyšší emisní nároky.	2010

Tab. 2 Aktuální výkonové třídy dle API pro vznětové motory [37] [38]

Třída	Vhodnost pro vznětové motory	od r.v.
CF-4	Pro moderní čtyřdobé motory (těžké tahače v dálničím provozu).	1990
CG-4	Pro moderní čtyřdobé motory (motory rychloběžné, splňující emisní limity).	1996
CH-4	Pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, vyžadující splnění emisních norem.	1998
CI-4	Pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, s EGR systémem, vyžadující splnění emisních norem	2002
CI-4 Plus	Plus oleje pro vysokootáčkové čtyřdobé motory, s EGR systémem, vyžadující splnění emisních norem	2004
CJ-4	Velmi vysoká výkonová rezerva pro vznětové motory. Překračují výkonnostní kritéria API CI-4, CH-4, CG-4 a CF-4 a mohou efektivně mazat motory vyžadující tyto kategorie API.	2006
CK-4	Pro vznětové motory se standardním obsahem síry v motorové naftě od 15 do 500 ppm. Oleje API CK-4 překračují výkonnostní kritéria API CJ-4, CI-4 a CH-4 a mohou efektivně mazat motory vyžadující tyto kategorie API	2017
FA-4	Pro vznětové motory s viskozitními třídami SAE xW-30 a pro používání motorové nafty s velmi nízkým obsahem síry pod 15 ppm. HTHSV 3,5 mPa.s. Oleje API FA-4 nejsou vzájemně kompatibilní s API CK-4, CJ-4, CI-4 a CH-4.	2017

➤ Klasifikace ACEA je evropská norma zahrnující motorové a převodové oleje. Norma určená pro vozidla dodávaná na evropské trhy. Jedná se o asociaci evropských konstruktérů vozidel. Norma ACEA od roku 1991 nahrazuje normu CCMC, která vznikla v roce 1972 kvůli ne zcela vyhovujícím požadavkům na oleje pro evropská vozidla specifikovaná dle normy API. O vhodnosti použitého maziva je nejvhodnější se řídit firemní normou daného výrobce. Výrobci automobilů současně požadují, aby firemní normy

v jisté míře vyhovovaly dané výkonové třídě dle mezinárodní normy ACEA, API. Z tohoto důvodu výrobci maziv testují své produkty nejen dle firemních norem zákazníka, ale i dle mezinárodních norem. [35]

Od roku 2004 jsou motorové oleje dle ACEA děleny do čtyř kategorií. *Kategorie A* označuje oleje určené pro zážehové motory. *Kategorie B* je vhodná pro maloobjemové vznětové motory osobních a lehkých užitkových vozidel. *Kategorie C* je svým použitím podobná kategoriím A, B. Odlišnost spočívá v kompatibilitě s katalyzátory a filtry pevných částic. Oleje kategorie C mají mírně odlišné mazací vlastnosti především díky nižšímu obsahu sulfátového popela, fosforu a síry. Jedná se o oleje označované jako „low SAPS“. Jejich použití není zcela vhodné pro motorové jednotky, které nebyly na tento typ oleje konstruovány. Do *kategorie E* lze zařadit oleje určené pro velkoobjemové vznětové motory určené pro nákladní automobily, zemědělské stroje a stavební stroje. Výkonost pro danou kategorii určuje doplňkové číslo. Oleje pro méně namáhané a nenáročné motory jsou označovány doplňkovým číslem 1. Následuje označení ve vzestupném pořadí. Čím je číslo vyšší, tím je olej určen pro náročnější provoz. [38] [35]

V tabulkách **Tab. 3**, **Tab. 4** a **Tab. 5** jsou popsány aktuálně platné výkonové třídy dle mezinárodní klasifikace ACEA. V tabulkách jsou uvedeny oleje vhodné pro jednotlivé typy motorů. Zážehové, vznětové, velkoobjemové i maloobjemové a tzv low-SAPS. [39]

Tab. 3 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro vznětové a zážehové maloobjemové motory [39]

Třída: ACEA	Vhodnost pro maloobjemové zážehové a vznětové motory tzv „High SAPS“
A3/B3	Olej určen pro zážehové a vznětové motory osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel. Vhodný pro náročné podmínky a prodloužené intervaly výměny, pokud to výrobce motoru umožňuje.
A3/B4	Použití obdobné jako v případě A3/B3. Vhodný především pro vznětové motory s přímým vstřikováním paliva.
A5/B5	Olej určen pro osobní a lehká užitková vozidla s možností prodloužených intervalů výměny. Olej se sníženou viskozitou a třením. Je určen pouze pro motory, které jsou konstruované na provoz se sníženou HTHS viskozitu. HTHS = (2,9 až 3,5) mPa.s.

Tab. 4 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro maloobjemové motory kategorie tzv „low-SAPS“ [39]

Třída. ACEA	Vhodnost pro zážehové a vznětové motory, požadovaná komptabilita s katalyzátory GPF / PDF tzv „Low SAPS“
C1	Olej určen pro použití v zážehových a vznětových motorech s přímým vstřikem osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel. Olej s velmi nízkým obsahem SAPS. Vhodný pro použití s katalyzátorem. Umožňuje prodloužené intervaly výměny. Je určen pro motory, které jsou konstruované na provoz se sníženou HTHS viskozitu. HTHS = 2,9 mPa.s.

C2	Olej se středním obsahem SAPS. Svým použitím odpovídá třídě C1. Kompatibilní s katalyzátory. Je určen pro motory, které jsou konstruované na provoz se sníženou HTHS viskozitu. HTHS = 2,9 mPa.s.
C3	Olej se středním obsahem SAPS. Umožňuje prodloužené intervaly výměny. Kompatibilní s katalyzátory. Vhodný pro zážehové a vznětové motory s přímým vstřikem. Určen pro motory, které jsou konstruované na provoz s viskozitou HTHS = 3,5 mPa.s.
C4	Olej s nízkým obsahem SAPS. Umožňuje prodloužené intervaly výměny. Vhodný pro zážehové a vznětové motory s přímým vstřikem. Je plně kompatibilní s katalyzátory, DPF a TWC. Je určen pro motory, které jsou konstruované na provoz s viskozitou HTHS = 3,5 mPa.s.
C5	Olej se středním obsahem SAPS, s cílem snižovat spotřebu paliva. Umožňuje prodloužené intervaly výměny. Kompatibilní s katalyzátory. Vhodný pro zážehové a vznětové motory s přímým vstřikem. Je určen pro motory, které jsou konstruované na provoz viskozitou HTHS = 2.6 mPa.s.

Tab. 5 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro velkoobjemové motory [39]

Třída: ACEA	Vhodné pro vznětové motory nákladních automobilů, zemědělských a stavebních strojů.
E4	Olej zajišťuje vynikající ochranu pístu, stálé mazání, čistotu a snižuje opotřebení včetně působení sazí. Určen pro vznětové motory emisní třídy Euro I, II, III, IV a V pracující za velmi náročných podmínek. Umožňuje prodloužené intervaly výměny oleje. Určen pro motory bez filtrů pevných částic a pouze pro některé motory vybavené EGR a SCR Nox systémy.
E6	Svým použitím odpovídá třídě ACEA E4. Určen pro vznětové motory emisní třídy Euro I, II, III, IV, V a VI. Umožňuje prodloužené intervaly výměny. Vhodný pro motory se systémy EGR, DPF a SCR NOx. Třída E6 je vhodná především pro motory se systémy DPF spalující motorovou naftu o nízkém obsahu síry do 50 ppm.
E7	Olej zabráňuje vzniku usazení v oblasti pístu a předchází vzniku zrcadlových ploch na stěnách válců. Snižuje opotřebení vniklé působením sazí, včetně úsad vzniklých v turbodmychadlu. Doporučován při používání vysoce kvalitní motorové nafty. Vhodný pro vznětové motory splňující emisní limity Euro I, II, III, IV a V, pracující za velmi náročných podmínek. Vhodný pro motory se systémy EGR a SCR NOx. Nevhodný pro systém DPF.
E9	Olej kategorie low-SAPS. Použití pro provoz odpovídající třídě E7. Třída ACEA E9 je vhodná do motorů s následným zpracováním výfukových plynů se systémy FAP, EGR a SCR NOx s použitím velmi kvalitní motorové nafty s nízkým obsahem síry. Vhodný pro systémy DPF díky nízkému obsahu sulfátový popela (max 1,0 % hm.)

1.3.2 Převodové oleje

Převodové oleje slouží k mazání ozubených kol. Musí zajistit vysokou přilnavost k boku zubu ozubeného kola. Převodové oleje mohou být založeny na minerální nebo syntetické bázi doplněny různými aditivy. Například vysokotlakými přísady pro hypoidní soukolí. Dle použití jsou převodové oleje určeny pro manuální, automatické a speciální (hydrodynamické měniče) převodovky. [9]

Oleje pro manuální převodovky se synchronizací převodových stupňů (všechny moderní převodovky osobních a užitkových automobilů) musí zajistit dokonalou ochranu proti opotřebení a zároveň

musí zajistit správnou funkci synchronizačních spojek, které naopak jisté tření potřebují. Použití nevhodného oleje urychlí opotřebení synchronizačních spojek, což má za následek zhoršení funkce změny převodových stupňů. Hlavní odlišnost oproti motorovému oleji spočívá ve vyšším obsahu vysokotlakých přísad a nižším množství dispergačních a detergenčních přísad. [9]

Olej pro automatické převodovky označovaný ATF slouží nejen k mazání převodů a distribuci tepla, ale především umožňuje pracovat jako hydraulická kapalina. Současně zaručuje funkci antikorozi ochrany a zajišťuje funkci i za nepříznivých podmínek. [9]

Požadavky kladené na převodové oleje [32]

- Snižovat opotřebení převodů
- Šetřit palivo
- Snadné řazení
- Nízká pěnivost
- Snižovat hlučnost
- Fungovat za nízkých teplot
- Snášlivost s těsnícími materiály
- Umožnit dlouhé intervaly výměny
- Široký rozsah použití
- Zaručit antikorozi ochranu

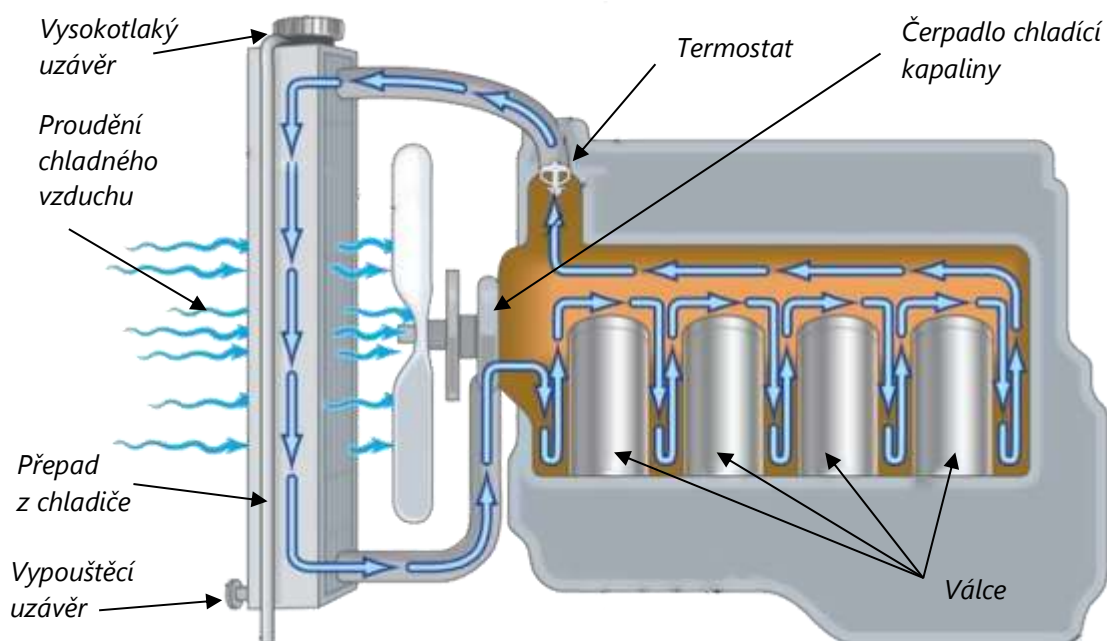
2 CHLADÍCÍ SOUSTAVA POHONNÉHO ÚSTROJÍ AUTOMOBILU

Válce spalovacích motorů jsou chlazeny z důvodu vzniku tepla během spalovacího procesu. V tomto případě lze teplo vyjádřit jako ztrátu přeměny energie chemické, vzniklé hořením a energie mechanické. Spalovací motory mají účinnost přibližně 25 až 35 %. Zbytek jsou ztráty vytvořené třením, ale především tepelné ztráty. V případě moderních motorů osobních a lehkých užitkových automobilů je používáno výhradně kapalinové nucené chlazení s uzavřenou soustavou, případně doplněné přídavným chladičem oleje. [2] [4]

Chlazení motoru odvádí přebytečné teplo z hlavy válců a stěn válců. Tím je snižováno tepelné namáhání. Chlazení udržuje teplotu motoru na takové úrovni, která je vhodná pro provoz. Teplota motoru ovlivňuje výkon, životnost a také jeho emise. V případě zážehových motorů se díky chlazení snižuje sklon k detonačnímu hoření. Na **Obr. 16** je znázorněno schéma principu funkce chladicí soustavy. [21] [4]

Chlazení musí zabezpečit tyto podmínky [4]

1. Zabezpečit teplotu vhodnou pro jednotlivé části motoru
2. Zabezpečit teplotu oleje tak, aby byla vytvořena souvislá vrstva mazacího filmu, která sníží tření na požadovanou hodnotu
3. Zabezpečit a udržovat nejhospodárnější pracovní teplotu



Obr. 16 Chladicí okruh [21]

2.1 HLAVNÍ ČÁSTI CHLADÍCÍ SOUSTAVY

✚ **Kapalinové chlazení s uzavřeným nuceným oběhem** je provedeno čerpáním chladicí kapaliny do chladících kanálků motoru pomocí čerpadla chladicí kapaliny. Čerpadlo bývá poháněno od klikového hřídele motoru. Klínový řemen pohání nejen čerpadlo chladicí kapaliny, ale také alternátor. Je nutné mít na paměti, že v případě mechanické závady alternátoru, kdy dojde k svléknutí klínového řemenu z řemenice je vyřazeno z činnosti i chlazení motoru. U studeného motoru cirkuluje chladicí kapalina pouze v bloku motoru (primární okruh). Čerpadlo chladicí kapaliny vhání chladicí kapalinu do kanálků vytvořených v bloku motoru, prostoru kolem válců a průchody v těsnění v hlavě válců. Po dosažení požadované provozní teploty dojde k otevření termostatu a chladicí směs začne proudit do chladiče vstupním hrdlem umístěným v horní části. Z výstupního hrdla chladiče proudí kapalina zpět do čerpadla. [4] [22]

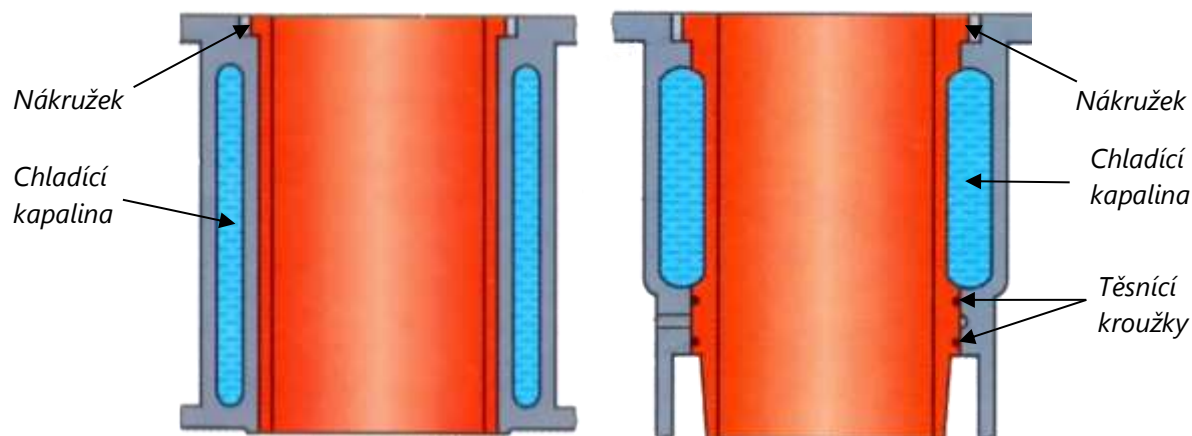
✚ **Chladič** se skládá z horní komory a spodní komory, mezi kterými je umístěna chladicí vložka. Ta se skládá z chladících žebër a trubiček, kterými proudí chladicí kapalina. V horní komoře je umístěno vstupní hrdlo. V případě přetlakových soustav je spojeno s expanzí nádobou. Současně sloužící k doplňování chladicí kapaliny. V případě rovnotlaké soustavy je absence expanzí nádoby. Kapalina je doplňována plnicím hrdlem v chladiči. Nežádoucí přetlak a podtlak je v tomto případě odváděn přepadem mimo motorový prostor. Uzávěr plnicího hrdla expanzní nádoby je vybaven přetlakovým a podtlakovým uzávěrem, který umožní zvýšit teplotu chladicí kapaliny na cca 110 °C až 120 °C u velmi výkonných motorů. Přetlakový ventil je otevřen při tlaku 120 až 150 kPa a podtlaku 10 kPa. [4] [22]

✚ **Čerpadlo chladicí kapaliny** je nejčastěji konstruováno jako odstředivé radiální. Čerpadlo je umístěno v bloku motoru. Pomocí pryžových hadic je spojeno se spodní komorou chladiče, případně s tělesem termostatu. Čerpadlo nasává chladicí kapalinu z chladiče a vhání ji do bloku motoru. V tělese čerpadla naplněného chladicí kapalinou se otáčí rotor (oběžné kolo s lopatkami). Chladicí směs je přiváděna v axiálním směru osy čerpadla. Lopatky rotujícího oběžného kola udělují kapalině kinetickou energii a vytlačují ji výstupním otvorem skříně čerpadla v radiálním směru. Oběžné kolo má obvykle otáčky vyšší, než jsou otáčky klikového hřídele, není to však pravidlem. Pohon čerpadla může být i beze změny převodového poměru od klikového hřídele. Dále může být pohon čerpadla zajištěn například pomocí elektromotoru nezávislého na otáčkách klikového hřídele. Čerpadlo musí zajistit úplný průchod chladicí kapaliny 7 až 12krát za minutu. Objem chladicí kapaliny v chladícím okruhu je obvykle čtyřnásobek až šestinásobek zdvihového objemu motoru. Čerpací výkon je volen dle výkonu motoru v rozmezí 8 000 až 32 000 l/h. Musí být zajištěn plynulý odvod tepla. Teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem na bloku motoru je pouze 5 až 7 °C. [4] [22]

✚ **Ventilátor.** U vozidla, které je v pohybu, vzduch přirozeně prochází chladicí vložkou chladiče a odebírá přebytečné teplo. Pokud se vozidlo nepohybuje, případně průtok vzduchu není dostatečný, dochází k nahrazení přirozeného proudění vzduchu nuceným chlazením pomocí ventilátoru. U starších konstrukčních provedení sloužil pro pohon ventilátoru klínový řemen s pohonem od klikového hřídele. Bohužel otáčky nebylo možno regulovat a byly přímo závislé na otáčkách klikového hřídele. Zároveň pohon ventilátoru odebíral nezanedbatelnou část výkonu. Docházelo k nahrazování tohoto typu pohonu ventilátoru. V současné době jsou využívány výhradně elektrické ventilátory s čidly umožňující přesné sepnutí v požadovaný okamžik. [4] [22]

✚ **Termostat** je určen k rychlému ohřevu motoru na provozní teplotu. Plynulým otevíráním a zavíráním je dosaženo konstantní provozní teploty v malém chladicím okruhu (blok motoru a tepelný výměník topení). Otevřením termostatu dojde k proudění horké chladicí kapaliny do velkého chladicího okruhu (okruh s chladičem). Při studeném motoru cirkuluje chladicí kapalina pouze v malém okruhu od válců skrz hlavu motoru, výměník topení, termostatu a čerpadlu chladicí kapaliny. [4] [22]

✚ **Suchý a mokrý vložený válec** je vložený válec v bloku motoru viz **Obr. 17**. Tvoří pracovní prostor, ve kterém se pohybuje píst. Jde o rozdíl v provedení, kdy je pracovní prostor vyhotoven přímo do bloku motoru (blok z grafitické litiny). Případně dále ošetřen povlakem snižujícím tření a opotřebení (blok z hliníkové slitiny). Mokrý vložený válec jsou obklopeny chladicí kapalinou, to umožňuje dokonalejší odvod tepla než v případě suchých vložených válců. Ve spodní části jsou těsněny pomocí obvodového pryžového těsnění (o-kroužky). Spodní část vnější válcové plochy je kuželová. Případně může být utěsněna měděným těsněním přikládaným z čela spodní části válce. Síla těsnění je volena, tak aby nedošlo k tzv. utopení vloženého válce". Tento typ umožňuje snadnější opravu spočívající ve výměně válců a pístní sady. Nevýhoda spočívá v nižší tuhosti, než při použití mokrých vložených válců. Suché vložené válce bývají tenkostěnné a umísťují se do bloku motoru nejčastěji s pevným uložením (nalisováním). Ke konečnému opracování (honování) dochází až po nalisování válců obdobným způsobem jako v případě



Obr. 17 Suchý vložený válec (vlevo) mokrý vložený válec (vpravo) [23]

bloku bez vložených válců. Všechny typy provedení válců jsou shora těsněny pomocí těsnění hlavy válců.
[23]

2.1.1 Chladicí kapaliny

Primárním úkolem chladicí kapaliny je přenos tepla z tepelně zatížených součástí. Musí zajišťovat lubrikační i antikorozi funkci. Současně poskytuje ochranu proti zamrznutí chladicího systému a zvyšuje bod varu oproti čisté vodě. Dále nesmí narušovat těsnění a části chladicího systému. Chladicí kapalinu tvoří směs destilované vody a nemrznoucí složky, nejčastěji glykolu. Chladicí kapalina dále obsahuje přísady. Silikáty vytvářejí ochrannou vrstvu kovových součástí proti vodnímu kameni. Antioxidanty zabraňují korozi. Inhibitory pění zamezují napěnění chladicí kapaliny. Kvůli nebezpečí záměny je chladicí kapalina zřetelně zbarvena. Přidáním hořkého činidla je preventivně předcházeno nebezpečí konzumace.
[24] [9]

3 TRIBOLOGIE A TRIBODIAGNOSTIKA

Mezioborový vědní obor tribologie se zabývá vzájemnou reakcí povrchů tuhých těles, při kterém dochází k vzácnému pohybu, případně snahou o pohyb. Výsledkem je vznikající tření. Při tření dochází k opotřebení styčných ploch a uvolňování částic. Částice mají nepříznivou funkci podobnou abrazivní pastě. Cílem je, částice vyplavovat z třecích ploch pomocí maziva. Tuto roli nejlépe zaujímá mazivo ve formě kapaliny. Cílem tribologie vědního oboru jako takového je shromažďování a uplatňování získaných znalostí v oblasti tření. V oblasti automobilismu nachází tribologie uplatnění při návrhu pístu, pístních kroužků, ložisek, uložení a dalších valivých a pohyblivých elementů. Aplikací poznatků tribologie do praxe se zabývá tribotechnika. [25]

3.1 TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Tato metoda využívá mazivo jako zdroj informací o mechanických změnách a dějích ve strojních zařízeních. Na základě kontaminace či degradace maziva lze objektivně sledovat opotřebení. Cílem je předcházet poruchám. Cirkulující olej vymývá stopové částice kovu, které se usazují ve formě suspenze. Nadměrné množství nečistot v oleji způsobuje zvýšené opotřebení mazaných součástí a v krajním případě může dojít k poruše funkce mazací soustavy. Správným vyhodnocením nečistot, respektive množství, velikosti a tvaru lze získat představu o technickém stavu kritických třecích uzlů. Správná interpretace pomáhá určit místo vzniku mechanické závady. Cíleným sledováním kvality maziva lze určit užitnou životnost maziva. Sledované parametry jsou viskozita, kyselost, obsah vody, obsah měkkých kalů a celkové složení maziva například pomocí infračervené spektroskopie. Cílem zjištění jsou produkty vzniklé tepelně-oxidačním procesem nebo látky z vnějšího prostředí, prachové částice, vlhkost. Na základě zjištěné kondice maziva lze predikovat optimální intervaly výměny. [26] [27]

V případě motorového oleje je zkoumáno devět kritérií

1. obsah sazí
2. produkty oxidace
3. produkty nitrace
4. produkty sulfatace
5. kontaminace palivem
6. kontaminace glykolem
7. kontaminace vodou
8. pokles vysokoteplotních antioxidantů
9. nárůst aromatů

3.2 MOBILNÍ METODY TRIBOTECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

Jde o jednoduché metody tribotechnické diagnostiky, které lze aplikovat mimo laboratoře. Náklady na speciální techniku nejsou příliš finančně náročné. Snaha je získat základní informace o kondici oleje. Na základě zjištění dochází k rozhodnutí, zda budou provedeny nákladnější laboratorní zkoušky. Stav oleje je posuzován i vizuální zkouškou, dle barvy, dle zápachu, přítomnosti vody a mechanických nečistot. Tyto metody jsou velmi vhodné i pro pracovníky servisních středisek. [27] [28]

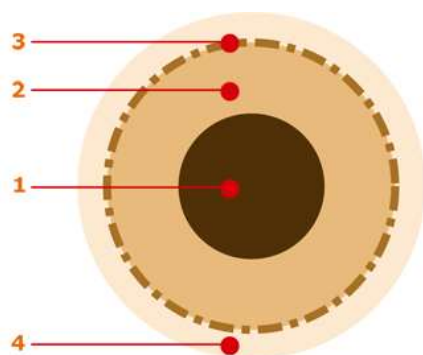
Zkoumané parametry

✚ **Kinematická viskozita** je základní ukazatel při hodnocení stavu oleje. Viskozita je závislá na teplotě a je charakterizována dle viskozitní klasifikace SAE. Během provozu viskozita motorového oleje klesá nebo roste. Za normálních provozních podmínek dochází k růstu viskozity vlivem zahušťování motorového oleje nečistotami a oxidačními produkty. Pokud viskozita během provozu klesá jde o nestandardní jev. Olej je ředěn nespáleným palivem, případně chladicí kapalinou. Měření probíhá pomocí viskozimetru. Při konstantní teplotě je měřena doba průtoku stálého množství oleje kalibrovanou trubicí. [28] [27]

✚ **Bod vzplanutí** je teplota ve stupních Celsia, při které dochází k uvolnění par ze vzorku oleje. Při přiblížení ke zkušebnímu plameni výpary vzplanou. Zkouška nepřímo ukazuje množství paliva v olejové náplni. Olejová náplň může být kontaminována palivem z důvodu častých startů s obohacením směsi, opotřebením pístní skupiny, nebo opotřebením vstřikovačů. Maximální doporučený obsah paliva v oleji je 5 % to přibližně odpovídá teplotě vzplanutí o 20–25 °C nižší, než je teplota nového oleje. [28] [25]

✚ **Obsah vody a chladicí kapaliny** v olejové náplni predikuje závadu v chladícím okruhu. Přítomnost vody snižuje kvalitu a antikorozi schopnosti oleje. Povoleno množství je udáváno do 0,2 hmotnostního %. Současně je olejová náplň testována na přítomnost nemrznoucí složky, která je v případě většiny evropských výrobců automobilů zastoupena glykolem. Při nepoužívanější orientační zkoušce je kapka oleje nanесena na rozpálenou desku. Přítomnost vody je prokázána charakteristickým prskáním a tvorbou bublin v oleji. Často je používána i vizuální zkouška. Odebraný vzorek protřepán a je sledována změna barvy (zakalení). V nekontaminovaném oleji nedochází k zakalení. [27] [25]

✚ **Kapková zkouška** je velmi snadná orientační zkouška, která slouží jako ukazatel kontaminace oleje. Lze s ní orientačně určit přítomnost vody, vyčerpanost detergentů a disperzantů. Na **Obr. 18** je zobrazeno vyhodnocení kapkové zkoušky. Pokud výsledek zkoušky vyjde pozitivně kladný, není nutné přistupovat k pokročilejším metodám nerozpustitelnosti v HEO (n-hexan, etanol a kyselina olejová). Zkouška je provedena nanesením homogenní kapky oleje na filtrační, případně chromatografický papír (Whatman). Zkoumaný parametr je rozsah vsáknutí a zbarvení okraje. Nanesený vzorek je nutno nechat vsakovat minimálně 20 minut při teplotě oleje 20 °C. [27]



- 1 – Vypovídá o znečištění pevnými látkami
- 2 – Stanovuje kondici oleje
- 3 – Hraniční zóna vypovídá o přítomnosti vody v oleji
- 4 – Vnější kruh – značí přítomnost paliva v oleji

Obr. 18 Vyhodnocení kapkové zkoušky [30]

4 NÁSLEDKY PROVOZU BEZ PROVOZNÍCH KAPALIN

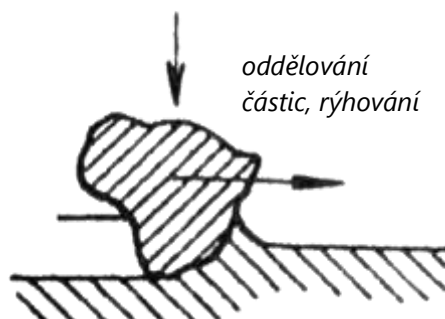
Pro správnou, bezchybnou a dlouhodobou funkci strojních součástí, mezi kterými dochází k valivému nebo kluznému pohybu je nutno zajistit optimální funkci mazání. Dle provedení a aplikace je voleno mazivo, které bude předcházet suchému tření. Náplň maziva, která je u spalovacího motoru tvořena doporučeným typem oleje, neustále cirkuluje mezi důležitými částmi v motoru vykonávající vzájemný pohyb. Vznikající nečistoty a generované teplo je neustále odváděno z kritických míst. To zvyhodňuje použití oleje oproti plastickým mazivům. Nevýhoda spočívá v nutnosti dalších strojních zařízení v mazací soustavě a náročnější údržbě viz předešlá kapitola 1.2. Je nutné mít na paměti následky, pokud dojde k závadě v tlakové mazací soustavě nebo k ztrátě olejové náplně. Vzhledem k vysokým otáčkám a vlivu vysoké teploty je předpoklad jisté formy opotřebení i při krátkodobém nedostatku maziva. Otázkou zůstává doba provozu, po které dojde k úplné ztrátě funkčnosti, případně k destrukci. Podobná situace nastává u kapalinové chladicí soustavy, princip funkčnosti viz kapitola 2. Zde je situace ještě nebezpečnější, protože následky přehřátí se nemusí projevit ihned. Typický příklad závady, která se nemusí projevit ihned, je mikroprasklina v hlavě motoru. [40]

Opotřebení jako takové lze definovat jako nežádoucí změnu povrchu, textury, rozměru, případně změnu vlastností tuhého tělesa. Opotřebení je způsobeno vzájemným působením dvou funkčních povrchů nebo povrchů a média. Velmi často dochází k působení více druhů opotřebení zároveň. Při namáhání ozubených kol únavou dochází k současnému namáhání vlivem abrazivních částic. [40]

Základních druhů opotřebení [25]

- | | |
|-------------|-------------|
| ➤ adhezivní | ➤ kavitační |
| ➤ abrazivní | ➤ únavové |
| ➤ erozivní | ➤ vibrační |

✚ **Abrazivní opotřebení** se vyznačuje oddělováním částic viz **Obr. 19**. Vlivem působením tvrdého a drsného povrchu na funkční plochu dochází k uvolňování abrazivních částic. Otěrem uvolněných částic vznikají typické rýhy vytvořené na funkční ploše. Nejzávažnější typ abrazivního opotřebení nastává, pokud vnikne uvolněná částice mezi dvě pohybující se funkční plochy. Velikost opotřebení se odvíjí od vzájemné tvrdosti funkční plochy a abrazivní částice. Z hlediska konstrukce lze jako prevenci doporučit volit funkční plochu s nižší tvrdostí o co vyšší tvrdost má abrazivní částice a opačně.



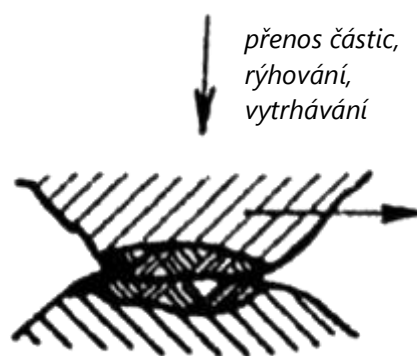
Obr. 19 Abrazivní opotřebení [25]

Například v případě dvojice ozubených kol. Pokud to konstrukční provedení umožňuje lze použít jedno

kolo vyrobené z oceli, litiny a druhé vyrobené z plastických hmot. V případě spalovacího motoru je nejvhodnější abrazivnímu opotřebení maximálně předcházet. Například udržovat v dobré kondici filtraci nasávaného vzduchu a filtraci motorového oleje. Současně provádět včasnou údržbu. [25] [41]

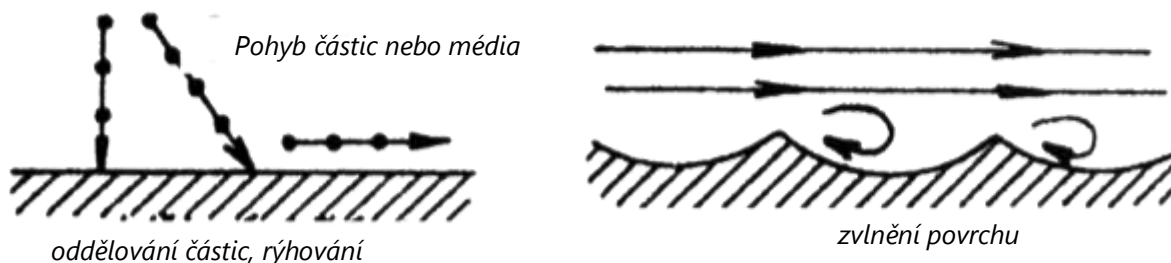
Adhezivní opotřebení se stejně jako v případě abrazivního opotřebení vyznačuje oddělováním částic mezi dvěma funkčními plochami. Odlišnost spočívá v oddělování a přemísťování částic kovu v důsledku relativního pohybu a porušování povrchových vrstev materiálu. Dochází k vytvoření takzvaného mikrospoje. Vlivem styku povrchu velkého množství kontaktních plošek a působením velkých sil jsou vytvářející plastické deformace. Dochází ke koncentrování tepla a lokálnímu ohřevu. Nastává chemická reakce kovů, což zvyšuje rychlost opotřebení, viz

Obr. 20. Jako příklad adhezivního opotřebení lze uvést kontaktní plochy ložiskového pouzdra ojnice a pístního čepu. Velikost opotřebení se často odvíjí od typu použitých materiálů, velikosti zatížení a textury funkčních povrchů. Citelného snížení opotřebení lze dosáhnout oddělením kontaktních ploch mazivem. Mazivo snižuje lokální napěťové špičky a současně zaručuje chemickou ochranu kovů. [25] [41]



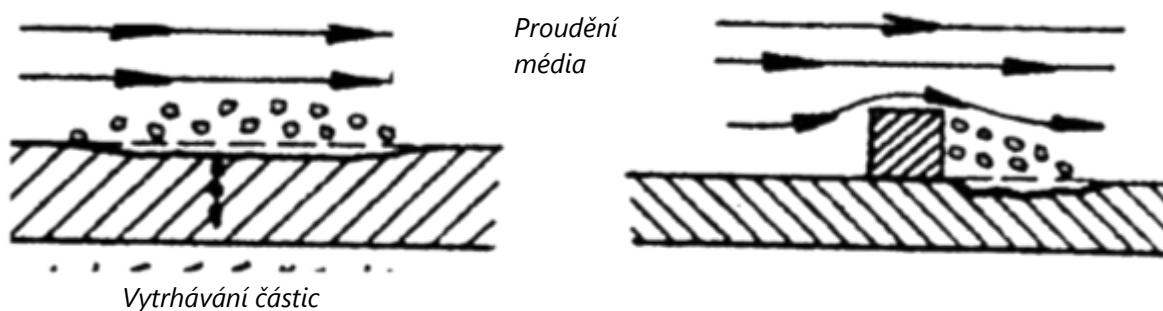
Obr. 20 Adhezivní opotřebení [25]

Erozivní opotřebení poškozuje funkční plochu dopadem částic v proudícím médiu. V závislosti na energii a úhlu dopadu dochází k oddělení nebo vytlačení materiálu z funkční plochy. Velikost opotřebení je závislá na faktorech, jako je rychlost, úhel dopadu částice, její velikost, tvar a tvrdost. Částice je unášena proudem kapaliny čerpadla případně proudem plynů. Erozivní opotřebení je vyvoláno dynamickými účinky rychle proudících plynů a kapalin. Správným konstrukčním provedením je možno snížit opotřebení. Povrchy s vysokou tvrdostí lépe odolávají dopadu částic pod malým úhlem a naopak materiály s nízkou tvrdostí jsou odolnější vůči dopadu ve směru kolmém k povrchu. Schéma erozivního opotřebení je zobrazeno na **Obr. 21**. [25] [41]



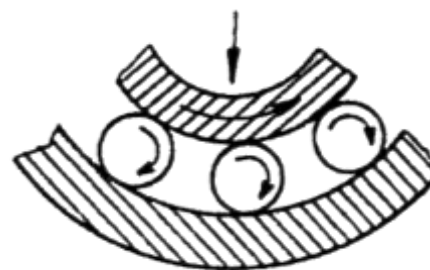
Obr. 21 Erozivní opotřebení [25]

✚ **Kavitační opotřebení** poškozuje funkční plochu v místě zániku kavitačních bublin v kapalině. Vlivem lokálního zvýšení proudění dochází ke snížení tlaku kapaliny a vytvoření kavitačních bublin. Pokud kavitační bublina plynu, páry ulpí na povrchu materiálu, dojde k implozi. Vzniklá rázová vlna působí na povrch materiálu devastujícími účinky. Dochází k oddělování částic materiálu. Schéma kavitačního opotřebení je zobrazeno na **Obr. 22**. Imploze jde jednoduše definovat jako energii uvolněnou dovnitř. Vzduchová bublina je vyplněna kapalinou. Jedná se o opak exploze. Na velmi malé ploše dochází k tlaku kapaliny v řádech 100 MPa a výraznému nárůstu teploty. Současné materiály neumožňují dlouhodobě odolávat velmi agresivnímu kavitačnímu opotřebení. Opotřebení je nutné především předcházet správným konstrukčním provedením a řešením. Jako prevence v případě spalovacího motoru je vhodné zvýšit tlak v chladicím okruhu a použít vhodné chemické prostředky. Kavitační opotřebení je vytvářeno především v oblasti hlavy válců, čerpadla chladicí kapaliny a vložených válců. [25] [41]



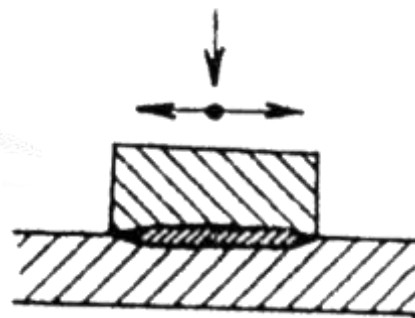
Obr. 22 Kavitační opotřebení [25]

✚ **Únavové opotřebení** je cyklicky opakující se napětí nepřesahující hodnotu meze pevnosti. Pokud napětí překročí mez kluzu, jedná se o nízkocyklovou únavu. Pokud je napětí menší, než je mez kluzu, jde o vysokocyklovou únavu. Únava vzniká postupným kumulováním poruch v povrchové vrstvě. Dochází k rozšiřování mikrotrhlin, jejich spojování a vytváření rozsáhlých oblastí únavového poškození. Pokud dochází ke kontaktu, projevy únavy mohou být odlišné. Jedním z nich pitting viz **Obr. 23** projevující se vznikem důlků oblého tvaru na povrchu funkční plochy. Například na ložiskovém kroužku. Je nutné detekovat únavové opotřebení již v počáteční fázi, zanedbání vede ke vzniku lomu. Důsledky takového to opotřebení jsou velmi kritické z hlediska bezpečnosti. [25] [41]



Obr. 23 Únavové opotřebení [25]

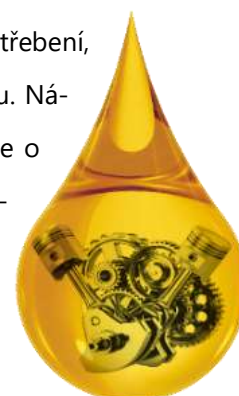
✚ **Vibrační opotřebení** vzniká vlivem amplitudy kmitavého pohybu. Dochází tangenciálnímu posunu funkčních ploch při současném působení normálového zatížení, viz **Obr. 24**. Opotřebení je doprovázeno vznikem oxidů železa s typickým hnědočerveným, hnědočerným zbarvením. Opotřebení vlivem vibrací se vyskytuje především u valivých ložisek, čepů a spojení hřídele s nábojem. Vibrace jsou způsobovány budícími kmity vlastním zdrojem (práce stroje) případně vnějším zdrojem. K opotřebení může dojít i během dlouhé doby přepravy, například lodí. Provoz lodního motoru generuje buzení kmitů na stejné frekvenci jako je vlastní frekvence ložisek. Jako prevenci vzniku vibračního opotřebení během přepravy lze předcházet vymezením ložiskových vůlí vložením tenkostěnných pouzder, která budou po dokončení přepravy demontována. [25] [41]



Obr. 24 Vibrační opotřebení [25]

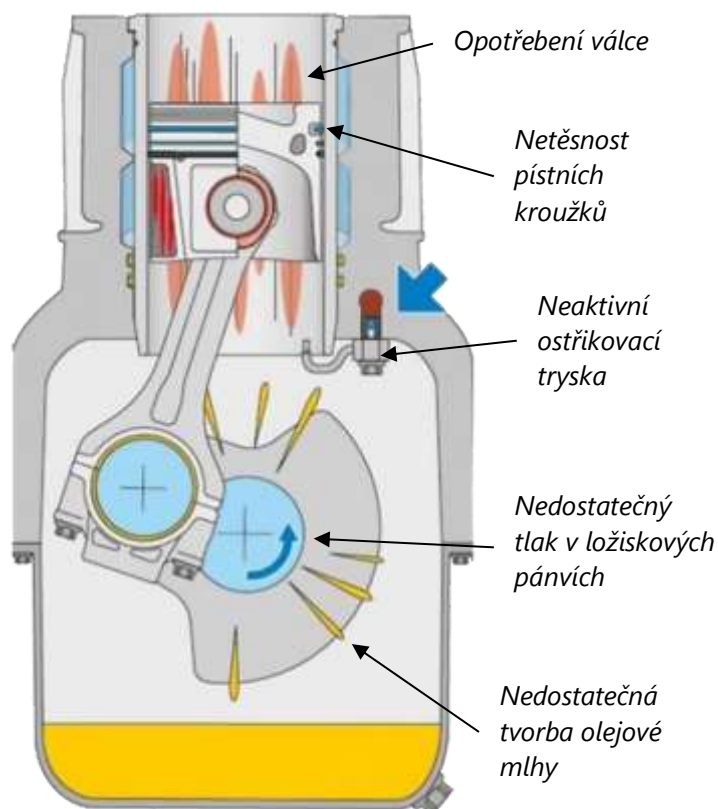
4.2 POŠKOZENÍ MOTORU PŘI NEDOKONALÉM MAZÁNÍ

V této kapitole budou vysvětleny modelové situace, kdy dochází k opotřebení, vlivem nedostatečného mazání, které je způsobeno nevhodným režimem motoru. Následky mohou být stejné závažné jako v případě nedostatku oleje v motoru. Jde o opotřebení vzniklé vinou lidského faktoru, kterého se uživatelé velmi často dopouštějí. Nejhorší skutečnost je, že se pochybení dopouštějí cíleně, z nevědomosti za účelem snížení opotřebení a prodloužení životnosti pohonného ústrojí. Jde o opotřebení vlivem chodu na volnoběžné otáčky po dobu delší, než je nezbytně nutné s cílem prohřát motorový agregát. Motoru neprospívají ani časté studené starty a jízdy na krátkou vzdálenost, kdy je olej ředěn palivem. Zvláště u zážehových přímo vstřikových motorů. S nedostatečnými otáčkami motoru často souvisí i nízké otáčky olejového čerpadla. Mazací tlak generovaný čerpadlem je příliš nízký a neposkytuje dostatek oleje v mazacích místech. Ložiska nejsou řádně mazaná a chlazená. Otěr a nečistoty vzniklé zvýšeným třením nejsou dostatečně vymývány z ložisek a ložiskových pánví. Tlak oleje v oblasti klikového hřídele není dostatečný. V případě optimálního mazání část oleje uniká podél kluzného uložení. Vlivem rotujícího klikového hřídele je vytvořena olejová mlha zajišťující mazání pracovní plochy válce. Bohužel v případě nízkého tlaku oleje není správná funkce zaručena. Těsnící pístní kroužky pro optimální těsnost využívají principů hydrodynamického mazání oleje. Pokud není dostatek oleje pro vytvoření ideálních podmínek, neposkytují pístní kroužky dostatečnou těsnost. Horké plyny spalín pronikají pístními kroužky. Tepelně ovlivňují pracovní plochu válce, poškozují olejový film a degradují olejovou náplň. V případě výkonných motorů vybavených tryskou sloužící k chlazení pístu a posílení mazacího účinku v oblasti pístního čepu není aplikace



Obr. 25 [42]

oleje tryskou aktivní, pokud není v mazacím systému dostatečný tlak. Tlakový ventil na přívodu oleje pro trysku je nastavený na požadovaný tlak. Ventil se otevře až za předpokladu zajištění dostatečného tlaku v ostatních mazacích větvích, především v oblasti vačkových hřídelů. Komponenty, jako jsou vačkové hřídele, vahadla a ventily, se nacházejí nejdále od olejového čerpadla, tedy na nejdelší olejové větvi. Množství dodaného oleje je v případě nízkého tlaku silně limitováno. Na **Obr. 26** je znázorněn princip mazání při nedostatečném tlaku i s možnými následky. V době neustálého tlaku na snížení emisí jsou zmenšovány zdvihové objemy motorů. V závislosti na snižování zdvihového objemu klesá i množství



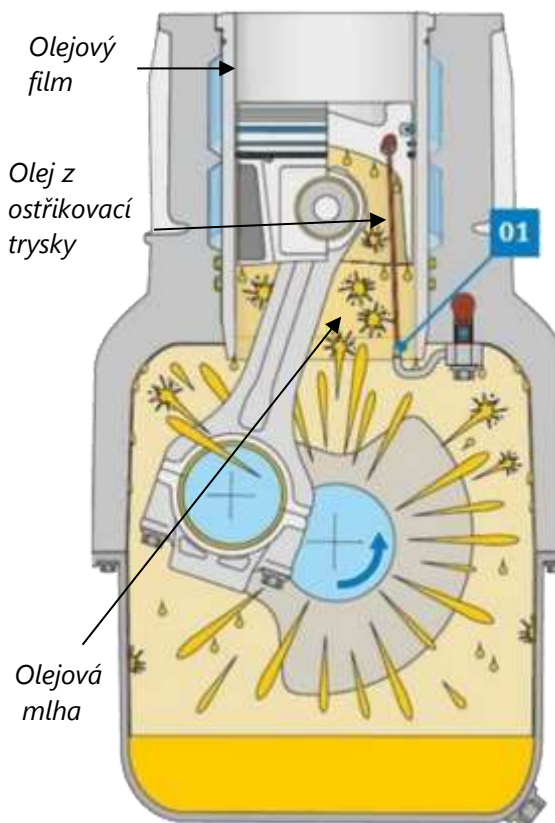
Obr. 26 Nedostatečné mazání vlivem nízkého tlaku oleje [43]

olejové náplně. V takovém případě i malý úbytek oleje může způsobit nedostatek oleje v důležitých mazacích místech. Zároveň malé množství oleje je náchylné na přehřátí, degradaci a sníženou mazací schopnost. Na trhu se neustále zvyšuje počet motorů vybavených přeplňováním, nejčastěji turbodmychadly. U běžně používaných turbodmychadel je střed rotoru uložen v kluzném uložení. Valivá keramická hybridní ložiska jsou vzhledem k aktuální vysoké ceně u konvekčních motorů zastoupena velmi zřídka. Kluzné uložení středu turbodmychadla vzhledem k nejlepší termodynamické účinnosti přeplňování je provedeno s velmi malou radiální vůlí. To zvyšuje citlivost

na čistotu a mazací vlastnosti oleje. Množství oleje v uložení je velmi malé. Pokud olej dostatečně necirkuluje, dochází vlivem vysoké teploty k jeho degradaci a vzniku karbonu. Při využívání maximálního výkonu motoru je doporučováno turbodmychadlo tzv „dochladiť“ pomalou jízdou tak, aby nedošlo k přehřátí oleje uvnitř turbodmychadla. [43] [40]

Je nutné mít na paměti, že opotřebení vzniká nedostatečnou cirkulací oleje, která může vzniknout i při volnoběžných otáčkách. Například 20 minut volnoběžného chodu motoru může způsobit stejné opotřebení jako rychlá jízda bez „dochlazení“. Na závěr je nutno konstatovat, že bezdůvodné dlouhodobé ponechání motoru na volnoběžné otáčky neprospívá životnosti pohonného ústrojí a současně se řidič dopouští přestupku dle § 7 zákona č. 361/2000 Sb.

Životnosti neprospívají ani systémy start – stop, kterými jsou vybaveny téměř všechny moderní automobily. Neustálé spuštění motoru má negativní vliv na opotřebení nejen z hlediska nedostatečného mazání, ale i z hlediska ředění oleje palivem. Vlivem častých studených startů dochází k obohacování směsi, smývání olejového filmu a pronikání paliva do oleje. Výrobci motorů i s těmito negativními druhy provozu počítají a snaží se těmito vlivům motory přizpůsobit. Nelze je však považovat z hlediska životnosti motoru za prospěšné. Na **Obr. 27** je znázorněno schéma optimální distribuce maziva. Vlivem dostatečného tlaku a otáček dochází k vytvoření olejové mlhy zaručující dokonalé mazání. Současně je odváděno přebytečné teplo. Olej smývá nečistoty z pracovní plochy válce a vytváří olejový film. Ostřikovací tryska chladí píst kanálkem vytvořeným v pístu a přimazává pístní čep. [43] [40]



Obr. 27 Optimální distribuce maziva [43]

✚ **Opotřebení pístní skupiny** Na **Obr. 28** je zobrazen poškozený píst a pístní kroužky. K poškození došlo vlivem abraze abrazivními částicemi vzniklými spalovacím procesem a třením pohybujících se ploch. Vzhledem k tomu, že nebyl vytvořen dostatečný olejový film, došlo k poškození pracovní plochy pístu a drážek pro pístní kroužky. Včetně pístních kroužků samotných. Absence oleje způsobila suché tření a nebylo zaručeno neustálé vymývání nečistot. Olejový film neodděloval pracovní plochy pístu a válce. Píst, již nebude vykazovat optimální užité vlastnosti. [44] [40]



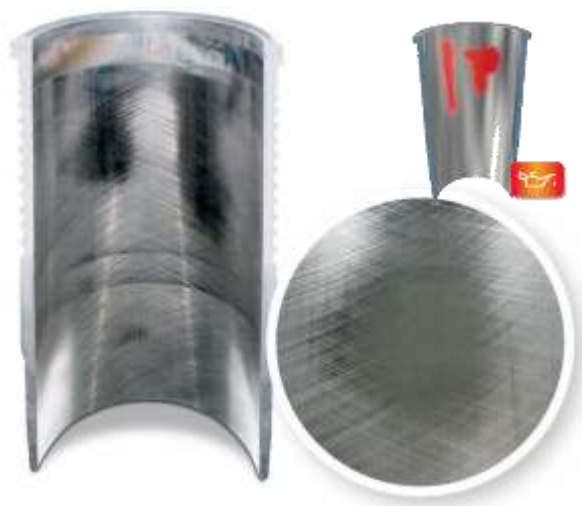
Obr. 28 Abrazivní opotřebení pístu [44]

Na **Obr. 29** je patrné opotřebení pístních kroužků a tzv „sukénky“. Opotřebení je způsobeno nesprávnou tvorbou směsi. Směs je příliš bohatá na palivo. Veškeré palivo se nestíhá odpařovat. Poškozuje a smývá olejový film mezi pístem a válcem. Jde o takzvaný chod „na sucho“. Tomu lze předcházet sníženým počtem studených startů na krátké vzdálenosti. Po startu uvést motor a vozidlo jízdu co nejdříve do provozní teploty. Minimalizovat dobu běhu motoru na volnoběžné otáčky. [44] [40]



Obr. 29 Opatření pístu chodem „na sucho“ [44]

Na **Obr. 30** je zobrazen válec opotřeбенý provozem takzvaně na „sucho“. Jde o stejný typ opotřebení, jako je znázorněn na **Obr. 29**. Jsou zde jasně parné „vyleštěné“ zrcadlové plochy které poškodili honovanou pracovní plochu. Ta slouží k udržení olejového filmu na stěnách válce. Takto poškozený válec není schopen udržet souvislý olejový film. V součinnosti s opotřeбенým pístem není zaručena těsnost spalovacího prostoru. Olejová mlhy z klikové skříně začne pronikat do spalovacího prostoru. Naopak spaliny proniknou do klikové skříně a kontaminují olej. Motor nebude poskytovat optimální výkon a bude vykazovat zvýšené emise a úbytek oleje. [44] [40]



Obr. 30 Opatření válce chodem „na sucho“ [44]

Na **Obr. 31** je zobrazen píst z přeplňovaného vznětového motoru. Píst je poškozen prasklinami v horní části na koruně pístu. Poškození vzniklo vlivem vysoké teploty a nedostatečného chlazení dna pístu pomocí ostříkovací trysky. Motor byl provozován pod velkým zatížením. Na závadě mělo jistý podíl nesprávně nastavené vstřikování, množství paliva, předstřik, netěsnící vstřikovač případně „chip tuning“. Závada vznikla přehřátím pístu, ale přehřátí vzniklo nesprávnou funkcí ostříkovací chladicí trysky. [44] [40]



Obr. 31 Prasknutí pístu vlivem přehřátí [44]

✚ **Opotřebení vačkového hřídele** Na **Obr. 32** je znázorněn palec vačky z vačkového hřídele určeného pro motory TDI PD koncernu VW. V tomto případě slouží palec vačky k ovládání sdruženého vstřikovače vyrobeného společností Robert Bosch AG. Každý vstřikovač má vlastní palec vačky na vačkovém hřídeli, který stlačuje pístek uvnitř vstřikovače a vytvářející potřebný vstřikovací tlak. Vstřikovač poskytuje dobrý vstřikovací tlak, negativum spočívá ve zvýšeném namáhání palce vačky. [46]



Obr. 32 Palec vačky ovládající sdružený vstřikovač. opotřebený (vlevo) nový (vpravo). [46]

Je bezpodmínečně nutné používat pouze schválený olej dle normy VW 505.01, VW 506.01 a pravidelnou výměnu provádět dle předepsaných intervalů. Na **Obr. 32** (vlevo) je zobrazen opotřebený palec vačky. Na **Obr. 32** (vpravo) je zobrazen nový nepoužitý palec vačky. Z obrázku vlevo je patrné opotřebení. K opotřebení nedošlo vlivem suchého tření, ale použitím neschváleného typu oleje. Olej nevykazoval lubrikační vlastnosti vhodné pro sdružené vstřikovače. Takového opotřebení může nastat již po ujetí v řádech desetitisíců kilometrů. [45] [46]

Jistý negativní podíl na užitných mazacích vlastnostech oleje má kontaminace palivem, motorovou naftou. Dochází k oslabení olejového filmu, to způsobuje poškození a přidírání vačky a zdvihátka. Ke kontaminaci oleje palivem dochází, pokud není provedeno řádné utěsnění vstřikovače, trysky. Pro předcházení opotřebení vačky a vačkového hřídele lze doporučit pravidelnou výměnu schváleného typu oleje v předepsaných intervalech a udržovat těsnost vstřikovací soustavy. Pokud již musí dojít k opravě, kdy musí být provedena výměna vačkového hřídele. Je vhodné zkontrolovat bezvadnou těsnost vstřikovacích součástí a všech použitých komponentů, včetně těsnosti trysek. [45]

✚ **Opotřebení klikového hřídele** a ojnice. K opotřebení hlavních a ojničních čepů klikového hřídele vlivem zadření dochází kvůli nedostatku přiváděného oleje. V případě čtyřdobých spalovacích motorů osobních a užitkových motorů je klikový hřídel vyroben z jednoho kusu (monolitické) oceli, litiny. Pomocí technologie odlévání případně kování. Čepy jsou obrobena a v bloku motoru uloženy do kluzných dvoudílných ložisek (šál). Kluzná ložiska jsou bimetalická s ložiskovou kompozicí, která snižuje tření a odolává opotřebení. Svou texturou stabilizuje olejový film. Parametry kluzných ložisek jsou voleny jako

kompromis. Tvrdší kompozice s vyšší odolností na otláčení má při nedokonalém mazání a vysokých otáčkách a sklony k zadírání. [40]

Na **Obr. 33** (vlevo) je vyobrazen ojnicí čep a část ojnicního ložiska klikového hřídele motocyklu. (Vpravo) je znázorněna ojnicí ložisková pánev. K opotřebení došlo vlivem abrazivního suchého třetí bez oleje. Opotřebení je poměrně rozsáhlé a vyžaduje opravu přebroušením na nový rozměr ložiskové pánve. Pokud je motor vystaven pouze krátkodobému nedostatku oleje dochází k poškození pouze ložiskové pánve a na klikové hřídeli nedochází k újmě. [40]



Obr. 33 Opotřebený ojnicí čep klikového hřídele (vlevo); ojnicí ložisková pánev (vpravo) [47]

4.2.1 Vliv absence olejové náplně na teplotu motoru

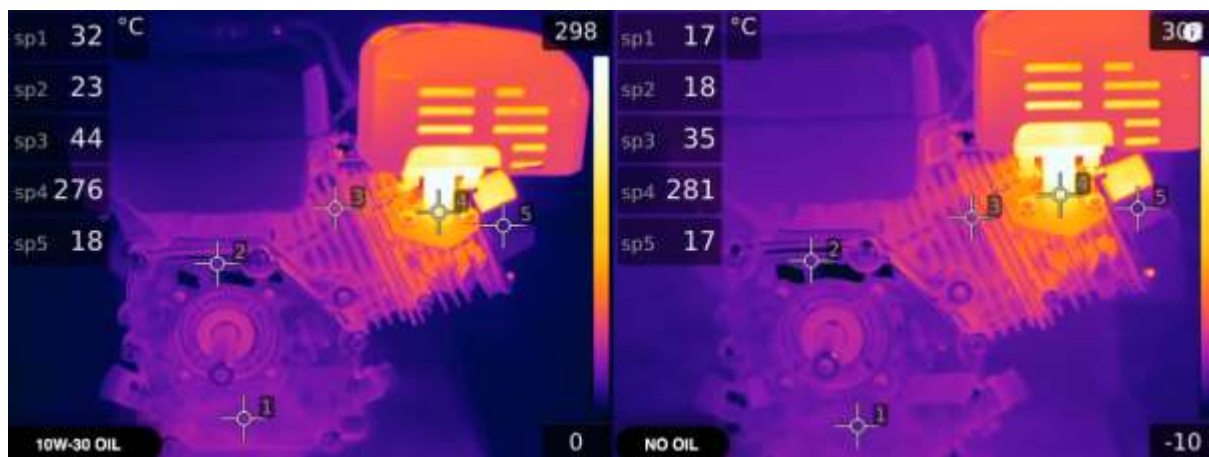
Na vzduchem chlazeném jednoválcovém čtyřdobém motoru o zdvihovém objemu 212 cm³ s ventilovým rozvodem OHV byl proveden experiment na následky provozu bez oleje. Se zaměřením na měření teploty motoru během provozu s olejovou náplní a bez olejové náplně. Byl proveden záznam pomocí termokamery. Záznam byl pořízen na termokameru FLIR T1K HD. Experiment proběhl na identickém motoru. Na snímku **Obr. 34** (vlevo) na následující straně je zaznamenán chod motoru s olejem 10W-30. (Vpravo) je zobrazen identický motor s časovým odstupem 24 hodin, aby bylo zaručeno vychladnutí motoru po předcházejícím provozu. Z motoru byl vypuštěn olej a motor byl znovu uveden do chodu. [54]

Na motoru je označeno pět bodů snímající teplotu. Bod 1. zobrazuje teplotu v dolní oblasti klikové skříně. Bod 2. zobrazuje teplotu v horní oblasti klikové skříně. Bod 3. zobrazuje vzduchem chlazené žebro válce. Bod 4. zobrazuje výfukové potrubí, kterým horké výfukové plyny z hlavy válce unikají do výfuku. Bod 5. zobrazuje ventilové víko. [54]



Obr. 34 Teplota 5 minut [54]

Na **Obr. 34** je zobrazen snímek z termokamery po pěti minutách provozu. Po uplynutí doby pěti minut provozu nejsou patrné žádné výrazné teplotní rozdíly za provozu s olejem a bez oleje. Vyšší teplotu lze pozorovat spíše u motoru provozovaném s olejem než v případě provozu, kde žádný olej použit není. V oblasti bodu 3. je teplota o 10 °C nižší u motoru bez oleje. To lze přisuzovat špatné distribuci tepla do chladících žebrování vlivem absence média (oleje) zaručující přenos tepla. Teplo zůstává koncentrováno v místech kritických třecích uzlů. Další citelnější rozdíl teploty 9 °C lze pozorovat v případě motoru provozovaného s olejem oblasti bodu 4. tedy výfukového potrubí. To je nutno přisoudit chybě měření, kdy došlo k opomenutí spuštěného obohacovače směsi (sytiče). Na **Obr. 35** je zobrazen snímek z termokamery po deseti minutách provozu. V oblasti bodu 1. dolní oblast klikové skříně činný teplotní rozdíl 15 °C. V bodě 2. v horní oblasti klikové skříně je naměřen rozdíl 5 °C. To lze přisuzovat absenci oleje v olejové skřini. [54]

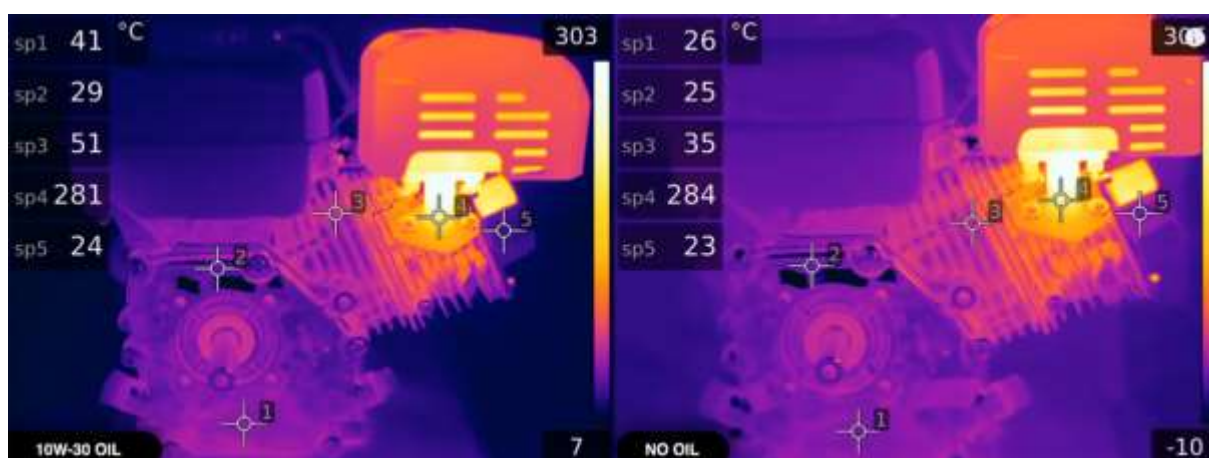


Obr. 35 Teplota 10 minut [54]

Olej není v kontaktu s hliníkovou slitinou motorové skříně. Lze usoudit, že olej jako teplotnosné médium předává část tepla skříni motoru, čímž dochází k ochlazení samotného oleje. V bodě 3. oblast chladících žeber motoru je zaznamenán rozdíl 9 °C. Rozdíl je téměř stejný jako v případě doby provozu po pěti minutách. Teplotní rozdíl lze přisuzovat stejně jako v předešlém případě špatné distribuci tepla vlivem absence oleje. V bodě 4. oblasti výfukového potrubí činí teplotní rozdíl 5 °C. Zde dochází ke změně situace, kdy motor bez oleje vykazuje vyšší teplotu než motor provozovaný s olejem. Vlivem pohybu pístu ve válci, bez dostatečného mazání nastává suché tření. Ale především zvýšení odporů pohybujících se součástí. Stejně jako v případě dalších pohybujících se komponentů uvnitř motoru. Tření generuje jistý podíl zátěže. S rostoucí zátěží stoupá i teplota výfukových plynů. V oblasti bodu 5. ventilového víka nedošlo k výraznému rozdílu teploty u jednotlivých motoru. [54]

Zároveň nedochází k celkovému nárůstu absolutní teploty po deseti minutách provozu. Vzhledem k tomu, že se jedná o motor s rozvodovým mechanismem typu OHV, tedy s absencí vačky v hlavě válců nedochází zde ke tření vačkového hřídele, vačky a ventilového zdvihátka. V hlavě válců se nachází pouze ventilové vahadlo uložené na vahadlovém čepu, rozvodové tyčky, ventily a ventilové pružiny. Jako místo, kde lze předpokládat požadavek na mazání je vahadlový čep. Pohyb, který koná je pouze rotační vratný. Z toho lze konstatovat menší náročnost na mazání v oblasti hlavy válců u rozvodového mechanismu OHV. Menší počet pohybujících se součástí vytvářející menší oteplení vlivem tření. [54]

Na **Obr. 36** je zobrazen snímek z termokamery po patnácti minutách provozu. Při porovnání jednotlivých druhů provozu nedošlo ke změně relativní teploty mezi jednotlivými druhy provozu po následujících pěti minutách chodu. Na konci měření je nutno dojít k závěru, že nárůst teploty se choval přesně opačně než by mohlo být předpokládáno. Tedy motor provozovaný s olejem, vykazoval na záběrech termokamery vyšší teplotu než motor provozovaný bez olejové náplně. Tím lze prokázat že, motorový olej slouží nejen jako mazivo, ale současně jako chladivo. [54]



Obr. 36 Teplota 15 minut [54]

Je předpoklad, že v případě dvou identicky nastavených motorů, provozovaných na stejné palivo se stejným provozním zatížením bude vytvořena přibližně stejná tepelná energie. Ztrátová tepelná energie je vytvořena jako doprovodný negativní produkt spalování směsi paliva a vzduchu. Ta je z motoru odváděna především chlazením, ale také výfukovými plyny a zářením. Pokud není teplo odváděno do částí motoru umožňující ochlazení, zůstává koncentrováno v třecích uzlech. Ty jsou nadměrně zahřívány, zvětšují svůj objem a vymezují provozní vůle. Zvyšuje se hodnota tření a dochází k zadírání. V kritickém případě dochází ke zadření součástí a není umožněn jejich pohyb. V nejhorším případě dochází k překročení meze pevnosti materiálu a destrukci motorové jednotky. [54] V tabulce **Tab. 6** jsou uvedeny procentuální hodnoty vytvořeného a odvedeného tepla spalovacího motoru.

Tab. 6 Dílčí teplo zážehového a vznětového motoru [55]

Dílčí teplo		Zážehový motor		Vznětový motor	
Teplo ekvivalentní vykonané práci		32 %		45 %	
Teplo odvedené chlazením	Při hoření	28 %	6 %	25 %	9 %
	Při expanzi		7 %		7 %
	Při výfuku		15 %		9 %
Teplo odvedené výfukovými plyny a zářením		40 %		30 %	
Celkem		100 %		100 %	

Po době 15 minut provozu bez oleje. Bylo demontováno víko motoru. Zbylo uvnitř pouze malé množství motorového oleje ve spodní části klikové skříně viz **Obr. 37**. Olej je znečištěný karbonovými zbytky a jsou v něm patrné úlomky z ložiskových pánví viz **Obr. 38**. [54]



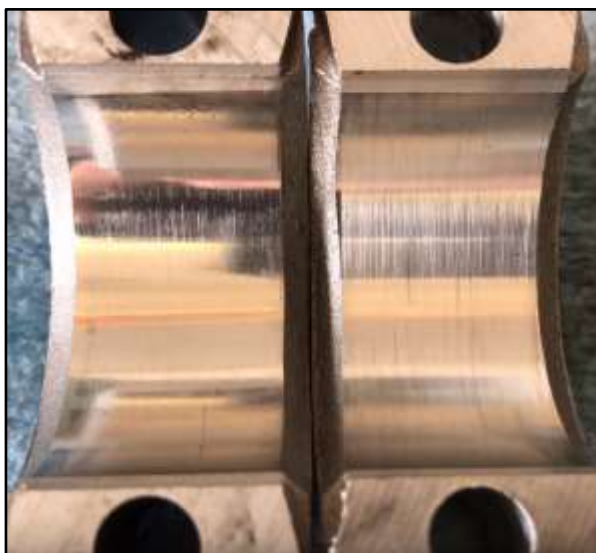
Obr. 37 Zbytky znečištěného oleje [54]



Obr. 38 Úlomky ložiskových pánví v oleji [54]

Po demontáži víka ojnice z klikového hřídele byly na ložiskové pánvi viditelné vyleštěné zrcadlové plochy a škrábance způsobené vlivem suchého tření. Na **Obr. 39** jsou znázorněny ložiskové šály klikového hřídele. (Vpravo) se nachází nové neopotřebované ložisko, na kterém jsou patrné stopy po zaškrabávání. Zaškrabávání je technologie prováděná za účelem vytvoření stabilního olejového filmu. (Vlevo) je znázorněna ložisková šála opotřebovaná vlivem suchého tření. Došlo k poškození pracovní ložiskové plochy. Byly vytvořeny zrcadlové plošky, na kterých není schopen olej vytvořit soustavný olejový film. Součást již nadále nebude optimálně plnit svou funkci. Naopak opotřebení vlivem abraze částic není v ložisku příliš rozsáhlé. To lze přisuzovat měkké ložiskové kompozici. Na **Obr. 40** je znázorněn ojnicí čep klikového hřídele. Zde jsou patrné škrábance a stopy po abrazivním opotřebení. Pro znovu uvedení motoru do provozu bude nutno čep přebrousit na nový výbrusový rozměr. [54]

Je velmi pravděpodobné, že obdobná situace je předpokládána v oblasti vačkového hřídele a pístní skupiny. Je nutné konstatovat, že jde o motor velmi jednoduché konstrukce s absencí tlakového mazání. Distribuce maziva je uskutečňována pouze rotací klikového hřídele, který víří olejovou náplň v oblasti klikové skříně. Jde o mazání takzvaným rozstříkem. Motor během svého chodu nebyl vystaven žádné zátěži. Z toho lze usuzovat poměrně dlouhou dobu provozu, bez provozního oleje. Za dobu 15 minut provozu nevzniklo takové destrukční poškození, které by znemožnilo další použití daného motoru. Je však pochopitelné, že opotřebovaný motor nebude poskytovat takový výkon jako motor neopotřebovaný. [54]



*Obr. 39 Ložiskové pánve. [54]
Opotřebovaná (vlevo) nová (vpravo)*

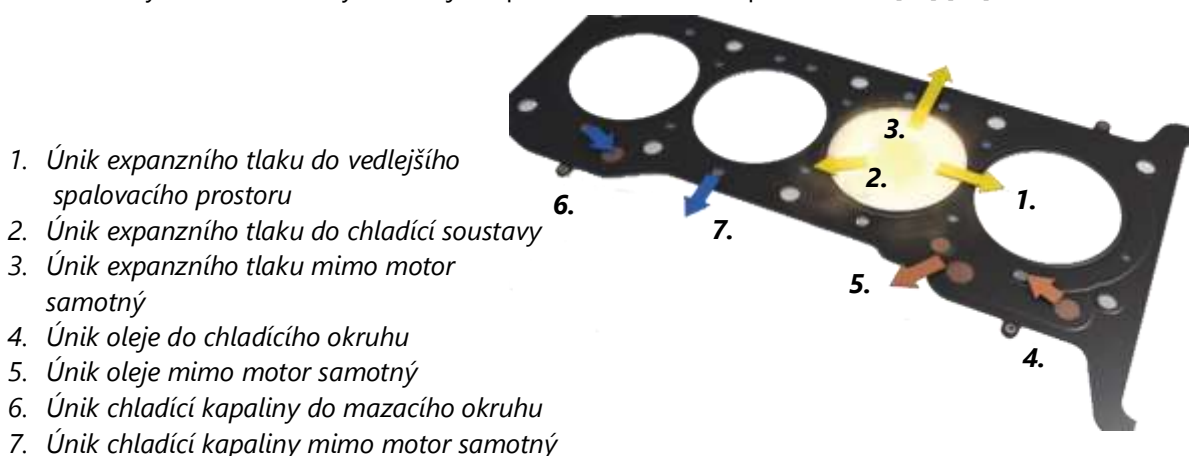


Obr. 40 Opotřebovaný čep klikového hřídele [54]

4.3 POŠKOZENÍ MOTORU PŘI NEDOKONALÉM CHLAZENÍ

Teplota sálající z motoru je energie, která vzniká jako vedlejší produkt spalovacího procesu. Spalovací motory jsou konstruovány tak, aby své nejvyšší účinnosti dosahovaly právě při své provozní teplotě. To lze vysvětlit tak, že podchlazení motoru je nežádoucí jev stejně jako jeho přehřátí. V případě kapalinou chlazených motorů je bezpodmínečně nutné, aby chladicí soustava byla naplněna chladicí kapalinou. V opačném případě nastává riziko nenávratného poškození součástí spalovacího motoru. Teplotu chladicí kapaliny zobrazenou na teploměru je nutno považovat spíše za průměr teploty motoru v závislosti na umístění čidla. To lze chápat tak, že teplota ve spodní části válců je nižší, než je teplota v hlavě válců, která je výrazněji tepelně ovlivněna spalovacím procesem. Z fyzikálního hlediska je nutné mít na paměti, že kovové materiály mají snahu zvětšovat svůj objem s rostoucí teplotou. Laicky řečeno vlivem energie tepla se molekuly kovu pohybují rychleji a zabírají více místa. Při zvýšení teploty nad provozní hodnotu dojde ke zmenšování provozních vůlí a vytlačování oleje z mazaných míst. Při konstrukci pohonného ústrojí je nutno s těmito vlivy počítat. Zvláště v případě, kdy dochází ke kontaktu dvou materiálů s rozdílnou tepelnou roztažností, například píst (hliníková slitina) a vložený válec (litina s lupínkovým grafitem). Zvětšené provozní vůle je možné do jisté míry kompenzovat olejem s vyšší viskozitou. Pro běžný motor lze uvažovat teplotu, kdy dochází přehřívání nad 110 °C. Po překročení teploty 120 °C dochází k trvalému poškození. [48] [49]

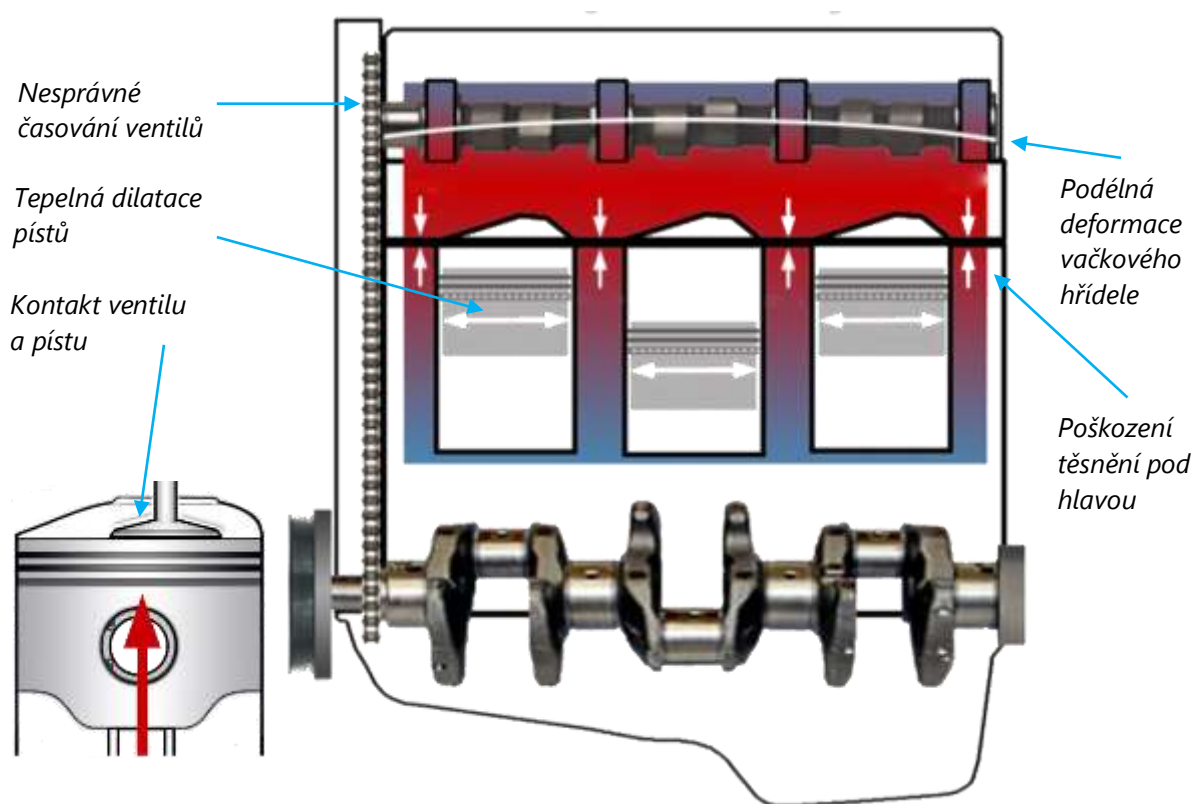
Provozní teploty jsou pro různé motory odlišné. Závodní zážehový přepínávací motor bude mít provozní teplotu vyšší než například atmosféricky plněný vznětový motor. Jako velmi citlivá součást z hlediska přehřátí se jeví hlava válců z hliníkové slitiny. Hliníková hlava je připevněna k bloku motoru pomocí svorníků, ty jsou však vyrobeny z oceli. Se vzrůstající teplotou dochází k jejímu rozpínání. Hliníková hlava zvětšuje svůj objem rychleji než ocelové svorníky. Dochází k deformaci hlavy válců a poškození těsnění pod hlavou. To způsobí unikání chladicí kapaliny z chladicího okruhu. Na obrázku **Obr. 41** jsou zobrazeny možné následky související s poškozením těsnění pod hlavou. [49] [50]



Obr. 41 Poškozené těsnění pod hlavou válců [50]

Poškození těsnění pod hlavou může být tak rozsáhlé, že může dojít k vzájemné kontaminaci provozních kapalin z jednotlivých okruhů. Pokud se například chladicí kapalina dostane až do výfukového potrubí, hrozí nevratné poškození kyslíkové lambda sondy a katalyzátoru. Jestliže dojde k takzvanému „podfouknutí těsnění“ tlak vytvořený hořením spalín proniká do chladicího systému a zvyšuje teplotu chladiva. To je důvod proč motory s poškozeným těsněním hlavy trpí přehříváním. Současně zvýšený tlak v chladicí soustavě nesvědčí chladičům a různým těsněním. Z přehřátí hlavy válců nastává nejen velké riziko poškození vlivem deformace a tvorbou trhlin, ale především poškození dalších součástí umístěných v hlavě válců. Například vačkové hřídele, které jsou pevně uloženy v ložiscích, se deformují v podélné ose v závislosti na ztrátě rovinnosti hlavy válců. Deformace mohou být tak závažné, že dochází k ovlivňování časování ventilů. Vlivem deformace hřídele může dojít k přeskočení zubů rozvodového kola a rozvodového řetězu/řemenu. Současně není zaručena optimální vůle zdvihátek ventilů vůči vahadlu/vačce vačkového hřídele. [49] [50]

Na **Obr. 42** jsou znázorněny jednotlivé typy poškození související s následky přehřátí v oblasti hlavy válců. Nejhorší situace nastává, pokud dojde ovlivnění časování ventilů do takové míry, že dojde ke kontaktu ventilu a pístu. Vlivem přehřátí může dojít k vymezení provozní vůle mezi pístem a válce. V takovém případě nastává zadření.



Obr. 42 Poškození vlivem přehřátí [49]

✚ **Deformace hlavy válců** vlivem přehřátí. Na **Obr. 43** je zobrazena poškozená hlava válců. Hlava byla osazena na motoru Mazda. Jednalo se o vznětový turbodmychadlem přeplňovaný agregát Mazda MZ-CD se zdvihovým objemem $2\,184\text{ cm}^3$ a výkonem 127 kW. Motor byl použit v automobilu Mazda CX - 7. Vlivem nesprávné funkce chladicího systému a následnému přehřátí došlo k podélné deformaci hlavy válců a ztrátě rovinnosti dotykové plochy. V hlavě válce byla vytvořena prasklina v oblasti sacího kanálu prvního válce. Prasklina není za pokojové teploty příliš zřetelná. Její negativní vliv se projevuje především za provozní teploty, kdy vlivem tepelné dilatace dochází k jejímu zvětšování. Motor je osazen šestnáctiventilovou technikou, tedy čtyři ventily na válec. Toto konstrukční řešení zaručuje nerosovatelně dokonalejší plnění a výplach válce oproti použití dvou ventilů na válec. Současně s tím souvisí zvýšené riziko vzniku trhlin v oblasti spalovacího prostoru za neoptimálních provozních podmínek motoru. Vzhledem k absenci materiálu, hlava válců vykazuje nižší tuhost a menší distribuci tepla. Vytvořená trhlina v hlavě motoru umožňuje únik kompresního a expanzního tlaku do chladicího systému. To dále zvyšuje přehřívání motoru. [51] [52]

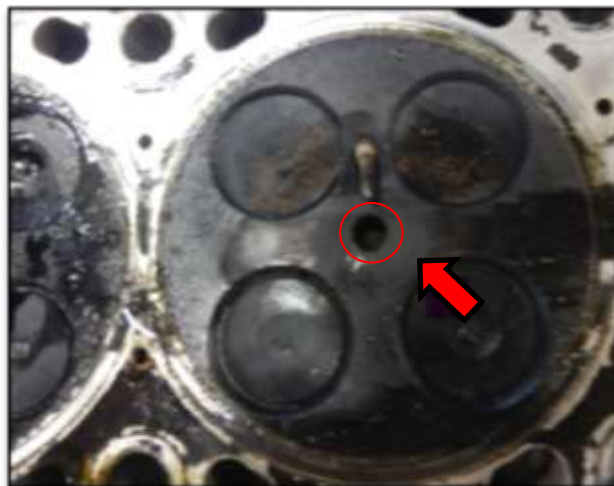


Obr. 43 Poškozená hlava válců motoru MZ-CD [51]

Těsnění pod hlavou přestalo plnit svou funkci a došlo k úniku chladicí kapaliny do spalovacího prostoru. Vliv tepelné dilatace způsobil deformaci otvoru určeného pro umístění vstřikovače, trysky. Jedná se o vstřikovač pro vstřikovací systém common-rail společnosti Denso, viz **Obr. 44** V hlavě válců je těsněn na rovné dosedací ploše pomocí těsnící podložky. Upevnění vstřikovače v hlavě je provedeno vyvozením axiální síly v ose vstřikovače pomocí šroubového spoje. Pro dokonalou funkci utěsnění vstřikovače musí být zaručena rovinnost a válcovitost dosedací plochy. Ta je bohužel vlivem přehřátí poškozena, viz **Obr. 45**. Nastalo tzv. „vyviklání“ vstřikovače. Pokud vstřikovač v hlavě netěsní, dochází k průniku a kontaminaci motorové nafty do oleje. Dochází k degradaci motorového oleje a vytváření karbonových úsad. Ty způsobují zanášení sacího koše olejového čerpadla. Snížený mazací tlak a průtok oleje vlivem zanesení sacího koše olejového čerpadla způsobuje nadměrné opotřebení uložení turbodmychadla. Zároveň dochází k opotřebení ložiskových pánví klikového hřídele, pístní sady a vačkových hřídelí. [51]



Obr. 44 Vstřikovač Denso [52]



Obr. 45 Opatřebená těsnící plocha pro vstřikovač [51]

Závěrem lze konstatovat, že i relativně krátkodobé přehřátí může způsobit fatální škody. Prasklina vlivem přehřátí nemusí být ihned patrná a provoz s poškozenou hlavou motoru může vést ke kompletnímu poškození motoru, viz výše. Jako opatření předcházející přehřátí lze doporučit pravidelnou kontrolu a běžnou údržbu. Například vizuální kontrolu množství chladicí kapaliny a šetrné čištění žebér výměníku chladiče. Pokud již k přehřívání dochází, sledovat symptomy předcházející vzniku. Sledovat ukazatel chladicí kapaliny (pokud je jím vozidlo vybaveno) a tomu přizpůsobit jízdní styl. Pokud během chodu motoru ukazatel chladicí kapaliny zobrazuje provozní teplotu a rázem dojde k poklesu na teplotu odpovídající teplotě studeného motoru je téměř jisté, že došlo k pravděpodobnému úniku chladicí kapaliny. Stejná věc platí v případě, kdy během provozu vozidla přestane fungovat topení nebo klimatizace. Pokud k takové situaci dochází, je bezpodmínečně nutné uvést vozidlo do klidu, vypnout motor a nechat agregát přirozeně vychladnout. Nikdy nedoplňovat studenou chladicí kalinu do ohřátého motoru. Teplotní šok může způsobit deformace a prasknutí chlazených součástí, především hlavy válců. [51]

✚ **Opotřebení pístní skupiny** vlivem přehřátí nastává při vymezení provozních vůlí. Písty se ve válcích pohybují s velmi malými tolerancemi, především z důvodu dosažení co nejvyšší účinnosti spalovacího procesu. Vůle mezi pístem a válcem může být pouze 0.05 mm. Tato provozní vůle je vymezena olejem, který současně snižuje opotřebení a vymývá nečistoty. Při optimální provozní teplotě je vytvořen optimální olejový film a pohyb pístních kroužků ve válci je uskutečněn bez výrazného opotřebení. Pokud dojde ke zvýšení teploty nad provozní hodnotu, písty vyrobené z hliníkové slitiny začnou zvětšovat svůj objem, stejně jako válce a dochází k vymezování provozní vůle. Pokud dojde k vymezení provozní vůle mezi pístem a válcem dochází k odpařování olejového filmu

a zadírání. Tento nežádoucí stav nastává po překročení provozní teploty. Při pohybu pístu ve válci kov na kov dochází k nenávratnému poškození pracovních ploch, viz

Obr. 46. Při poškození pístu a těsnících pístních kroužků pronikají spaliny o vysokém tlaku do klikové skříně. Vlivem vysokého tlaku a teploty může dojít

k poškození těsnění, kdy odvětrání klikové skříně nedokáže odvést přebytečný tlak. Dochází tak i k úniku provozní náplně. Olejová náplň je kontaminována agresivními spalinami, které degradují mazací schopnosti oleje a způsobují korozi. V krajním případě dochází k poškození uložení klikového hřídele a ložisek. Poškozené stírací pístní kroužky neplní svou funkci a olej proniká do spalovacího prostoru. Dochází k jeho spalování. Nastává snížení výkonu motoru a zvýšení spotřeby motorového oleje. Spaliny směsi oleje a paliva proudí katalyzátorem a dramaticky snižují jeho životnost. Motor v uvedeném stavu je nutno co nejdříve odstavit a provést potřebné opravy, než dojde k poškození dalších součástí. Pokud je vozidlo vybaveno automatickou převodovkou je situace o to komplikovanější, pokud je náplň chlazená výměníkem, který je součástí chladicí soustavy. Přehřívání automatické převodovky může způsobit její poškození a dále zvýšit celkové náklady na opravu. [40] [49] [44]



Obr. 46 Abrasivní opotřebení pístu vlivem přehřátí [44]

buji korozi. V krajním případě dochází k poškození uložení klikového hřídele a ložisek. Poškozené stírací pístní kroužky neplní svou funkci a olej proniká do spalovacího prostoru. Dochází k jeho spalování. Nastává snížení výkonu motoru a zvýšení spotřeby motorového oleje. Spaliny směsi oleje a paliva proudí katalyzátorem a dramaticky snižují jeho životnost. Motor v uvedeném stavu je nutno co nejdříve odstavit a provést potřebné opravy, než dojde k poškození dalších součástí. Pokud je vozidlo vybaveno automatickou převodovkou je situace o to komplikovanější, pokud je náplň chlazená výměníkem, který je součástí chladicí soustavy. Přehřívání automatické převodovky může způsobit její poškození a dále zvýšit celkové náklady na opravu. [40] [49] [44]

5 EXPERIMENTY PROVEDENÉ ÚSI VUT

Experimenty proběhly na vrakovišti, v sídle společnosti Kovosteel Recycling, s.r.o. ve Starém Městě u Uherského Hradiště. Účelem experimentů bylo objasnit následky doby provozu spalovacího motoru a převodového ústrojí bez provozní náplně. K tomu účelu byly zajištěny čtyři osobní automobily odlišných továrních značek. Vzhledem k omezeným měřicím podmínkám a materiálovým prostředkům bylo možno generovat zatížení napodobující jízdu pouze pomocí brzdné soustavy. To nic nemění na skutečnosti, že bylo docíleno jisté představy o době životnosti motorového a převodového ústrojí. Ale především došlo k určení místa, kde nejčastěji dochází k fatálnímu poškození. Je nutno uvažovat mírné odchylky v životnosti jednotlivých ústrojí v závislosti na jízdním stylu, ale i na individuálním opotřebením hlavních konstrukčních uzlů. Například v oblasti pístních kroužků, vložených válců, uložení klikového hřídele případně ložisek v převodové skříni.

Vzhledem k tomu, že automobily byly již staršího data výroby, bylo nutné brát na vědomí jistou míru opotřebení. V případě opotřebení spalovacího motoru šlo obecně konstatovat nižší mazací tlak a tím nižší mazací účinnost. Na druhé straně byly v pohybujiících se součástech vytvořené zvětšené provozní vůle, které jsou méně náchylné na případné zadření.

5.1 ŠKODA OCTAVIA

Na automobilu Škoda Octavia I. generace proběhl test zaměřený na provoz motoru bez olejové náplně. Na **Obr. 47** zobrazen automobil připravený na zkušební test. Automobil byl osazen zážehovým atmosféricky plněným motorem s obchodním označením 1.8i. Čtyřválcový motor byl v automobilu



Obr. 47 Škoda Octavia I [vlastní]

umístěn příčně ve směru jízdy. Vzhledem k počtu ventilů se jednalo spíše o ojedinělou konstrukci. Hnací agregát původně z konstrukční kanceláře Audi disponoval celkem dvaceti ventily. Rozuměno pěti ventily na válec, třemi sacími a dvěma výfukovými.

Na **Obr. 48** je zobrazen daný motor s viditelným pevným sáním z hliníkové slitiny. To bylo typické pro motory vyrobené v dřívějším období. Automobil byl vyroben v roce 1997 v Mladé Boleslavi. Stav tachometru zobrazoval hodnotu 209 023 najetých kilometrů. Vzhledem k opotřeбенému stavu, zvláště v oblasti interiéru, nelze stavu tachometru přisuzovat velkou váhu. Po uvedení motoru do chodu, nebyly zaznamenány zásadní nedostatky z hlediska hluku napovídající nadměrné opotřeбенí agregátu. Navzdory pohotové reakci otáček na plynový pedál docházelo k silné exhalaci výfukových plynů modrého zbarvení viz **Obr. 49** s citelných zápachem spáleného oleje. Byl předpoklad opotřeбенí v oblasti



Obr. 48 Motor 1.8i 92 kW s pevnou délkou sání [vlastní] Obr. 49 Únik nespáleného oleje z výfukového potrubí [vlastní]

pístní skupiny a vodítek ventilů. Po jisté době došlo k úniku nespécifikované kapaliny z výfukové potrubí, která svým vzhledem a zápachem připomínala motorový olej. V **Tab. 7** jsou uvedeny parametry automobilu Škoda Octavia I.

Tab. 7 Parametry automobilu Škoda Octavia I. [56] [40]

Tovární značka	ŠKODA
Model	Octavia I.
Rok výroby	1997
Druh	Osobní (kat. M1)
Motor	1.8i 20V, řadový čtyřválec
Objem	1 781 cm ³
Výkon	92 Kw / (5900 ot·min ⁻¹)
Točivý moment	173 Nm / (3900 ot·min ⁻¹)
Karoserie a převodovka	Liftback; manuální 5°

Tovární značka	ŠKODA
Výbava	SLX
VIN	TMBZZZ1U6V2007114
Stav tachometru	209 023 km
pohon	Pohon předních kol

5.1.1 Průběh testu Škoda Octavia

Test zaměřený na dobu provozu a životnost motoru bez motorového oleje byl zahájen přípravou. V první fázi byl motor uveden do provozu s cílem dosáhnout provozní teploty. Měření by nebylo zcela optimální, pokud by byl testován zcela studený motor. K prohřívání docházelo při zvýšených volnoběžných otáčkách. Zahřívání motoru bylo ukončeno po dosažení teploty chladící kapaliny odpovídající teplotě potřebné pro otevření termostatu. K otevření termostatu dochází při teplotě 88 °C.

V druhé fázi bylo nutno vypustit motorový olej. Pro snadnější přístup byl automobil nadzvednut pomocí vysokozdvizného vozíku. Vypouštěcí šroub se nacházel v nejnižším místě spodního víka motoru. Horký olej byl zachytáván do sběrné nádoby.

Ve třetí fázi byl zahájen samotný test. Motor byl uveden do chodu a hnací náprava byla nadlehčena. Tím bylo zajištěno volné otáčení kol. Bylo usilováno o udržení otáček motoru v oblasti nejvyššího točivého momentu 173 Nm při 3900 ot·min⁻¹ na čtvrtý rychlostní stupeň. Otáčky motoru na daný převodový stupeň odpovídaly rychlosti 90 km/h. Byla snaha simulovat provoz při maximální dávce paliva. Pedál akcelérátoru byl zcela sešlápnut a otáčky byly regulovány pomocí brzdového pedálu. Během testu docházelo k výkyvu otáček v rozmezí 3500-4500 ot·min⁻¹. Průběh měření byl zaznamenán na kameru GoPro 658 upevněnou na volantu. Kamera snímala rychlost, otáčky a provozní teplotu na přístrojovém panelu. Jeden ze záběrů je zachycen na **Obr. 50**.



Obr. 50 Přístrojový panel Škoda Octavia [vlastní]

Chování motoru v průběhu testu

Tab. 8 Škoda Octavia průběh testu [40]

<u>Čas [mm:ss]</u>	<u>Popis projevů motorů během testu</u>
00:47	Zaznamenáno zvýšené tření pohybujících se součástí uvnitř motoru. Motor již pohotově nereagoval na změnu otáček pomocí pedálu akceleratoru.
02:05	Začalo docházet k velmi citelnému odporu a zadírání. Bylo obtížné udržet motor v požadovaných otáčkách.
02:22	Došlo k samovolnému zhasnutí motoru v testovaných otáčkách. Je předpokládáno zadření v oblasti ojnicího čepu. Motor byl neprodleně uveden do chodu. Motor již nedokázal udržet ani volnoběžné otáčky bez zvýšené dávky palivy.
02:26	Dochází k destrukci spodního víka motoru patou ojnice. Motor je vyřazen z činnosti. Dochází k úniku zbytků oleje smíchaného s karbonovými zbytky doprovázené citelným zápachem spáleného oleje.

5.1.2 Následky opotřebení

V důsledku absence oleje během experimentu byl motor vyřazen z činnosti. Pohonné ústrojí již nebylo možno použít ve vozidle k primárnímu účelu. Jako příčinu destrukce motoru, lze považovat zadření ložiskové pánve ojnice. Destrukci předcházela nedostatek maziva a mazacího tlaku v oblasti klikového hřídele. Byly vytvořeny podmínky pro vznik suchého tření. Vlivem tření došlo k lokálnímu ohřevu pohybujících se součástí. V důsledku toho došlo k zamezení pohybu ojnicího čepu a ložiskové pánve. Nastalo překročení meze pevnosti ojnicího šroubu na druhé ojnici (uvažováno od ventilových rozvodů). Víko ojnice a pata ojnice byly uvolněny z ojnicího čepu. Působením expanzního tlaku na píst ve druhém válci, byl píst spolu s ojnicí vymrštěn na rotující klikový hřídel. Pata ojnici způsobila proražení spodního víka motoru z hliníkové slitiny. Píst byl zcela roztříštěn.

Na **Obr. 51** je zachycen snímek v okamžiku, kdy došlo k proražení spodního víka motoru patou ojnice. Poškození bylo doprovázeno silným dýmem a zápachem spáleného oleje.



Obr. 51 Destrukce spodního víka motoru patou ojnice [vlastní]

Na **Obr. 52** (vlevo) je zachycen snímek zobrazující detailní poškození spodního víka motoru. Víko je vyrobeno z hliníkové slitiny poměrně pevné konstrukce. (Vpravo) je zobrazena poškozená pata ojnice druhého válce. Je jasně patrná její deformace.



Obr. 52 Detailní pohled na poškozené spodní víka motoru [vlastní]

Na **Obr. 54** je zobrazena poškozená ojnice druhého válce. Téměř do poloviny dříku ojnice, myšleno od paty ojnice vykazuje materiál modré zbarvení naznačující tepelné ovlivnění materiálu. Jde o jasný důkaz vysoké teploty vyvolané v důsledku značného tření v oblasti ložiskových pánví. Silná boční deformace dříku byla způsobena nárazem do spodního víka motoru. V oblasti pístního čepu nastalo pevné, nerozebíratelné spojení s ložiskovým pouzdem. Vlivem tření došlo k svaření těchto dvou částí. Nebyla umožněna nenásilná demontáž. Na **Obr. 55** je zobrazeno víko ojnice. Z obrázku je patrné velmi silné poškození způsobené rotací klikového hřídele, není zřejmý ani původní tvar. Ložiskové pánve byly roztrženy na zcela malé úlomky. Ojniční šrouby zobrazené na **Obr. 56** byly poškozeny vlivem namáhání

na tah. To lze usuzovat vzhledem ke zúženému průřezu vzniklého za mezí pevnosti. Jedná se o vznik takzvaného krčku. Překročení meze pevnosti šroubů nastalo po zadření ložiskových pánví a jejich snahou o oddělení od čepu klikového hřídele. Na **Obr. 53** jsou zobrazeny fragmenty zbytků pístu. Jde o největší části zbývající z původního pístu. I v tomto případě došlo k deformaci vlivem rotace klikového hřídele.



Obr. 53 Fragmenty pístu [vlastní]



Obr. 54 Ojnice [vlastní]

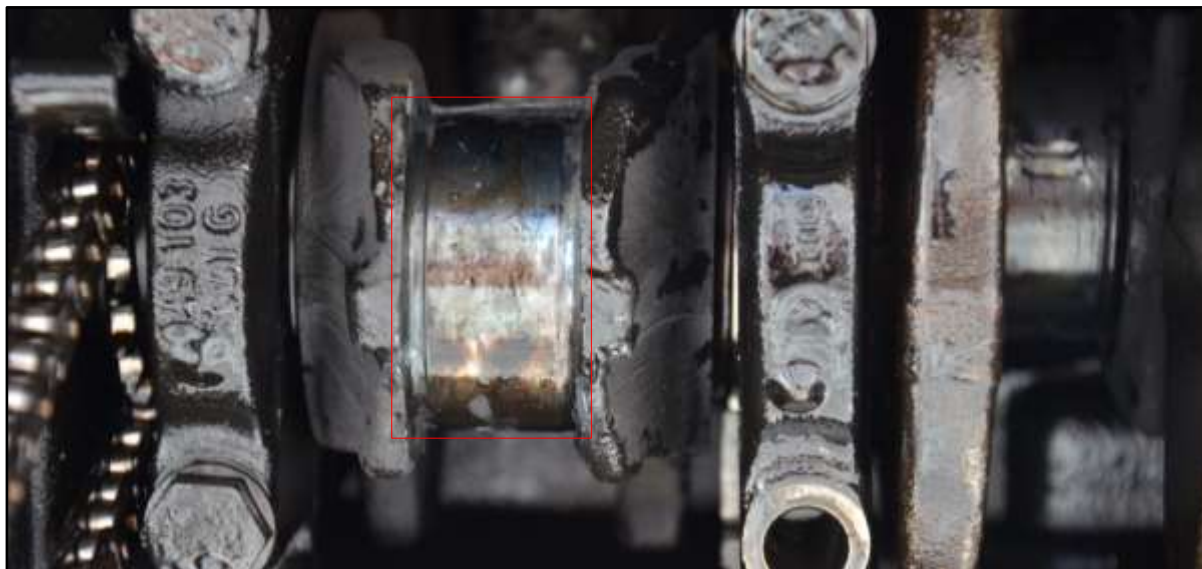


Obr. 55 Deformované víko ojnice [vlastní]



Obr. 56 Ojniční šrouby [vlastní]

Na **Obr. 57** je zobrazen ojnicí čep klikového hřídele. Jsou zde jasně patrné stopy po suchém tření a abrazivním opotřebení. Čep je místy zbarven modře až černohnědě v důsledku vysoké teploty. Pracovní plocha čepu je zcela znehodnocena. Pro znovuvvedení do provozu by bylo nutno přebrousit na požadovaný výbrusový rozměr, pokud to velikost poškození umožňuje. V opačném případě je nutno aplikovat termický nástřik kovu a opětovné obrobení broušením za předpokladu že nedošlo k prasknutí/deformaci samotného klikového hřídele.



Obr. 57 Opotřeбенý ojnicí čep druhého válce [vlastní]

Na **Obr. 58** jsou zobrazeny dva snímky. (Vlevo) je zobrazeno demontované spodní víko motoru. Dno víka je citelně znečištěno karbonovými úsadami vzniklými průnikem horkých spalín ze spalovacího prostoru a karbonováním zbytků olejové náplně vlivem vysoké teploty. Ve víku se nachází poškozené části ložiskové kompozice, pánve hlavního a ojnicího uložení a zbytky poškozeného pístu. (Vpravo) je zobrazen snímek klikové skříně při pohledu ze spodu. V popředí snímku je patrné hrdlo sacího koše sloužící k nasávání motorového oleje. Na vnější části hrdla jsou patrné velmi drobné úlomky zlatavé barvy. Jde o zbytky ložiskových pánví klikového hřídele. I v případě klikové skříně a klikového hřídele je patrné silné znečištění karbonovými zbytky, stejně jako v případě spodního víka motoru.



Obr. 58 Motor po demontáži spodního víka motoru [vlastní]

Po demontáži krytu motoru a ventilového víka byly odhaleny vačkové hřídele viz **Obr. 59**. Poškození vačkových hřídelů není tak závažné, jak by se dalo předpokládat. Vačky sice vykazují jistou formu abrazivního opotřebení, ne však takového rozsahu, které by znemožnilo další použití. Součásti v oblasti ventilového víka byly ještě pokryty zbytky oleje. Teplota a tření nebylo v této oblasti tak rozsáhlé, aby způsobilo odpaření a degradaci oleje. Z experimentu je patrné, že v případě nedostatku oleje dochází k poškození nejdříve v oblasti klikového hřídele a až následně dochází k poškození vačkových hřídelů.



Obr. 59 Vačkové hřídele [vlastní]

5.2 HONDA CIVIC

Na automobilu Honda Civic Mk. V. viz **Obr. 60** proběhl experiment zaměřený na provoz motoru bez motorového oleje. Jednalo se o automobil vyrobený ve Velké Británii v roce 1994. Byla měřena doba, po jaké dojde k zastavení, poškození pohonného ústrojí neumožňující další použití. Stav tachometru vozidla byl 237 983 km.



Obr. 60 Honda Civic Mk. V [58]

Na **Obr. 61** je znázorněn motor Honda z testovaného automobilu. Jedná se o čtyřválcový zážehový agregát se zdvihovým objemem $1\,396\text{ cm}^3$. Motor byl osazen přestavbou umožňující spalování alternativního paliva LPG. Stav automobilu odpovídal stáří a počtu najetých kilometrů. Na **Obr. 62** je zobrazen snímek zachycující pohled na automobil ze spodu. Automobil se nachází v pozici připravené na vypuštění motorového oleje. V **Tab. 9** jsou uvedeny parametry testovaného automobilu.



Obr. 61 Motor Honda 1.4i provozovaný LPG [51]



Obr. 62 Příprava na vypuštění oleje [51]

Tab. 9 Parametry automobilu Honda Civic Mk. V [51] [57]

Tovární značka	Honda
Model	Civic Mk. V
Rok výroby	1994
Druh	Osobní (kat. M1)
Motor	1.4i na LPG, řadový čtyřválec
Objem	1396 cm^3
Výkon	66 kW / (6000 ot./min)
Točivý moment	115 Nm / (3000 ot./min)
Karoserie a převodovka	Sedan, manuální 5°
VIN	ZAR937000-05160143
Stav tachometru	237 983 km

5.2.1 Průběh testu Honda Civic

Průběh testu byl zaznamenán pomocí termokamery Fluke TiX 580 a pomocí kamery GOPRo 658. Pro usnadnění přístupu k výpustnému šroubu ve spodním víku motoru, byl automobil zvednut pomocí vysokozdvizného vozíku. Po uvolnění výpustného šroubu došlo k zachycení oleje do sběrné nádoby.

Automobil byl následně umístěn na pevnou plochu. Měření probíhalo při maximální nastavené dávce paliva. Automobil stál na místě a nebylo generováno žádné zatížení simulující jízdu.

Chování motorového ústrojí v průběhu testu

Tab. 10 Honda Civic průběh testu [51] [40]

<u>Čas [mm:ss]</u>	<u>Popis projevů motorů během testu</u>
01:20	Docházelo k poklesu otáček a zadírání
01:43	Dochází k destrukci v oblasti spodní části bloku motoru (klikové ústrojí)
02:00	Motor je vyřazen z činnosti

5.2.2 Následky opotřebení

Na **Obr. 63** je zachycen testovaný automobil Honda Civic v okamžiku kdy došlo k destrukci motoru. Poškození motoru bylo doprovázeno únikem značného množství dýmu. Na **Obr. 64** je zobrazen snímek z termokamery Fluke TiX 580. Termokamera zaznamenávala ventilové víko z hliníkové slitiny a část výfukových svodů. Nejvyšší zaznamenaná teplota dosahovala cca 150 °C. Je třeba uvažovat vlastnost termokamery, kde přesnost měření je ovlivněna vzdáleností od měřeného objektu.

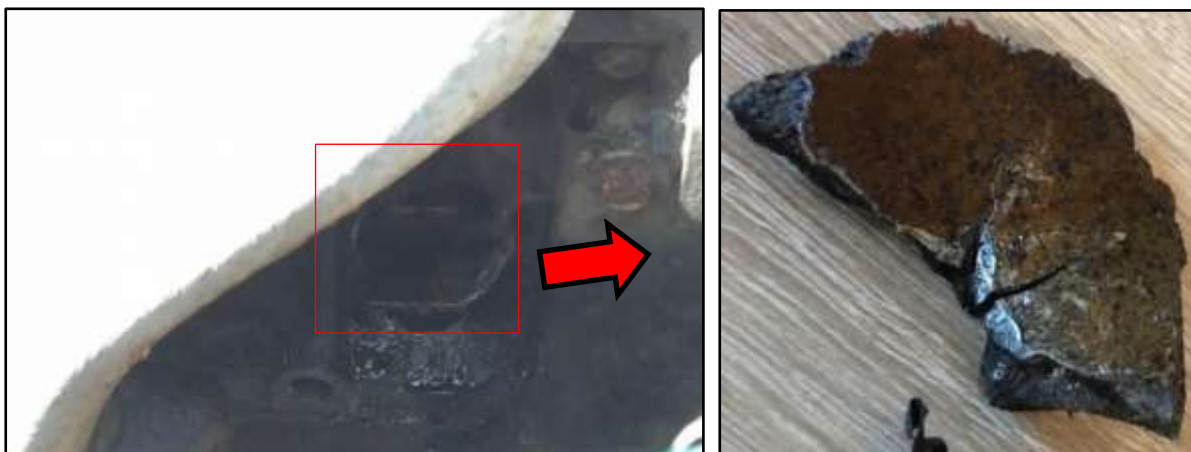


Obr. 63 Únik dýmu v okamžiku destrukce motoru [51]



Obr. 64 Záběr z termokamery motoru Honda [51]

Na **Obr. 65** (na následující straně) jsou zachyceny následky poškození. Vlivem zadření v oblasti ojničního čepu došlo k destrukci ojnice, která vytvořila v bloku motoru otvor. Na obrázku (vlevo) je zobrazen snímek, na kterém je patrné proražení bloku motoru. (Vpravo) se nachází část úlomku pocházející z bloku. Motor byl vyřazen z činnosti. Vzhledem k absenci chlazení nápořem vzduchu jízdou a nedostatečným chlazením pomocí ventilátoru, byl překročen bod varu chladicí kapaliny a došlo k jejímu odpaření z chladicí soustavy. Tato skutečnost měla nepochybně vliv na urychlení poškození a zkrácení doby chodu motorového agregátu bez provozní náplně. Motor nebyl dostatečně mazán ani chlazen.



Obr. 65 Poškozený blok motoru [51]

5.3 ALFA ROMEO 147

Automobil Alfa Romeo 147 byl testován na provoz převodového ústrojí bez provozní kapaliny, převodového oleje. Jednalo se o automobil Alfa Romeo 147 vyrobený v roce 2004 v Pomigliano d'Arco poblíž Neapole. Automobil byl osazen čtyřválcovým příčně uloženým zážehovým motorem 1.6 16V Twin Spark a manuální pětistupňovou převodovkou se synchronizací převodových stupňů. Stav tachometru zobrazoval 109 258 najetých kilometrů. Automobil po vizuální stránce působil zachovalým a udržovaným dojmem viz **Obr. 66**.



Obr. 66 Alfa Romeo 147 [vlastní]

Po uvedení motoru do chodu a intenzivním přidání plynu docházelo k velmi silné exhalaci výfukových plynů modrého zbarvení. Z výfukového potrubí docházelo k značnému úniku zbytků nespáleného motorového oleje viz **Obr. 67**. Lze předpokládat závažnější závadu nebo opotřebení v oblasti hlavy válců, případně pístní skupiny. Řazení všech převodových stupňů se jevilo jako bezproblémové. Dráhy



Obr. 67 Exhalace výfukových plynů Alfa Romeo 147 [vlastní]

řazení v řadicí kulise byly poměrně dlouhé a samotné řazení ne zcela přesné. Změna převodových stupňů odpovídala povaze převodové skříně daného vozu. Provozní vůle v řadicí kulise nebyli příliš rozsáhlé. Převodové ústrojí nevykazovalo závažné nedostatky. V **Tab. 11** jsou uvedeny parametry automobilu Alfa Romeo 147.

Tab. 11 Parametry automobilu Alfa Romeo 147 [40] [58]

Tovární značka	ALFA ROMEO 147
Model	147
Rok výroby	2004
Druh	Osobní (kat. M1)
Motor / počet válců	1,6 16V Twin Spark, řadový čtyřválec
Objem	1 598 cm ³
Výkon	88 kW / (6200 ot./min)
Točivý moment	144 Nm / (4200 ot./min)
Karoserie a převodovka	Hatchback; manuální 5°
Výbava	Progression
VIN	ZAR937000-05160143
Stav tachometru	109 258 km
Pohon	Pohon předních kol

5.3.1 Průběh testu Alfa Romeo 147

Automobil byl zvednut pomocí vysoko zdvižného vozíku viz **Obr. 68** pro snadnější přístup ke spodní části převodové skříně. Cílem bylo vypustit maximální možné množství oleje z převodové skříně. Tím by byly vytvořeny odpovídající podmínky pro vznik suchého tření v oblasti ozubených kol, synchronizačních spojek a ložisek. Automobil nebyl v době před vypuštěním náplně uveden do chodu, aby bylo zaručeno ztečení oleje do spodní části převodové skříně. Jízda a nastartování by způsobilo rozstřík olejové náplně v převodové skříně.



Obr. 68 Příprava na test [vlastní]

Vzhledem k absenci vhodného klíče určeného k povolování výpustného šroubu a pro usnadnění vyprázdnění olejové náplně byl vytvořen otvor v převodové skříně. Otvor byl vyvrtán v nejnižším místě skříně viz **Obr. 69**. To zajistilo maximální možný únik oleje. Vzhledem k technologickému provedení výpustného šroubu není umožněno veškeré vypuštění oleje. Výpustný šroub je tvořen kuželovým závitem, který je zašroubován do závitu v převodové skříně. Pro zaručení jisté meze pevnosti musí být skříň zesílená nálitkem se silnější stěnou umožňující vytvoření vnitřního závitu. Nálitkem tvořící hranu neumožňoval vypuštění veškerého oleje. Zbylé množství oleje nebylo příliš objemné a pro standardní výměnu oleje v převodové skříně zcela zanedbatelné. Vytékající olej červené barvy byl zachycen do sběrné nádoby. Olej po vizuální stránce nevykazoval známky degradace vlivem obsahu nečistot. Neobsahoval úlomky ani otěrové části vzniklé následkem opotřebování ozubených kol nebo synchronizačních spojek.



Obr. 69 Vytvořený výpustný otvor v převodové skříně [vlastní]

Chování převodového ústrojí v průběhu testu

Tab. 12 Alfa Romeo 147 průběh testu [40]

<u>Čas [mm:ss]</u>	<u>Popis projevů převodového ústrojí během testu</u>
10:00	Zvýšená hlučnost v oblasti převodového ústrojí, zvýšené tření.
30:00	Přetrvávající hlučnost, nedochází k závažnému poškození

Samotný test spočíval ve změně všech převodových stupňů včetně reverzního během spuštěného motoru. Následně byl ponechán zařazený převážně pátý převodový stupeň. Zátěž byla simulována pomocí brzdového ústrojí. Automobil byl testován po celkovou dobu v délce třiceti minut. Vzhledem k tomu, že nedošlo k závažnému poškození nebo destrukci jednotlivých součástí ani převodové skříně, byl test ukončen. První známky naznačující nedostatek maziva a vliv suchého třetí se začaly projevovat po době cca deseti minut. Byla zřetelně slyšitelná typická hlučnost dvou spoluzabírajících ozubených kol, které nebyly odděleny souvislou vrstvou olejového filmu. Tato hlučnost se v čase nepatrně zvyšovala. Test byl ukončen po uplynutí doby třiceti minut, kdy nedošlo k výrazným projevům změny chodu. Z průběhu testu jednoznačně vyplývá schopnost automobilu zdolat značnou vzdálenost i s absencí oleje v převodové skříni.

5.3.2 Následky opotřebení

Po ukončení testu bylo demontováno boční víko převodové skříně viz **Obr. 70** (vlevo) pod kterým se nachází ozubené kolo stálého záběru a dvojice ozubených kol reverzního a pátého převodového stupně včetně synchronizačních spojek a řadicí vidličky. Po demontáži se uvnitř víka nacházely zbytky převodového oleje, který se nepodařilo vypustit viz **Obr 70** (vpravo). Olej červené barvy byl poměrně čistý, nevykazoval významné stopy po přehřátí ani přepálení. Nebyly zde patrné ani stopy po úlomcích ozubených kol nebo synchronizačních spojek.



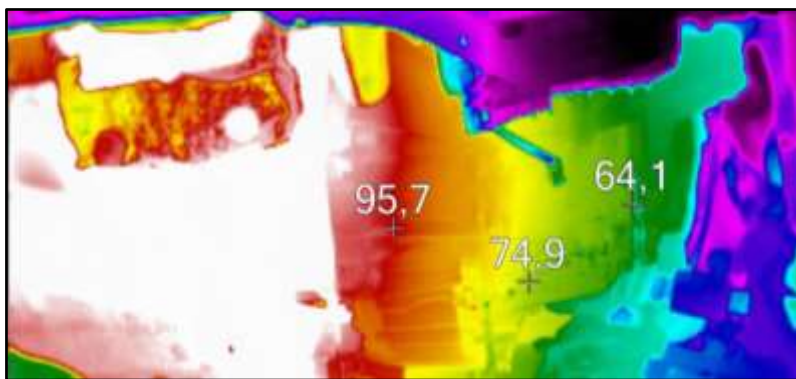
Obr. 70 Víko převodové skříně [vlastní]

Na **Obr. 71** na jsou znázorněna ozubená kola stálého převodu, pátého a reverzního převodového stupně. Ozubení převodových kol nejvíce známkují opotřebení, navzdory absenci oleje během testu. Naopak z obrázku jsou patrné pozůstatky oleje usazené na tělese řadící vidličky a na nefunkční ploše ozubeného kola stálého záběru. To lze vysvětlit nedostatečnou teplotou, která by způsobila odpařování zbytků oleje. Velikost tření nebyla dostatečně velká na to, aby způsobila v oblasti ozubení a valivých ložisek nárůst takové teploty, která by způsobila zadření. Je nutné mít na paměti funkční princip dvojice spolu zabírajících ozubených kol, kdy při zaručení odpovídající přesnosti výroby dochází při pohybu k odvalování boku zubů. Jde o pohyb valivý a nedochází zde ke smýkání. Ozubená kola jsou více odolná vůči poškození při nedostatečném mazání. Zároveň lze konstatovat vyšší odolnost valivých ložisek vůči zadření při nevhodném mazání než v případě ložisek kluzných.



Obr. 71 Převodové stupně [vlastní]

Na **Obr. 72** (na následující straně) je zobrazen snímek z termokamery Fluke TiX 580. Nejvyšší teplota 95,7 °C. byla zaznamenána v levé části převodové skříně (uvažováno proti směru jízdy vozidla). Teplota převodové skříně byla nepochybně ovlivněna sálajícím teplem z motoru. Skříň vyrobená z hliníkové slitiny s dobrou tepelnou vodivostí je k motoru přímo upevněná pomocí šroubů. Vzhledem k absenci převodového oleje jako teplonosného media dochází k rozdílu teplot mezi převodovými součástmi a „obalem“ převodové skříně. Je předpoklad koncentrace tepla u pohybujících se součástí. Mezi součástmi, u kterých dochází k vzájemnému pohybu bude teplota vyšší než v případě „obalu“ převodové skříně. I za tohoto předpokladu je patrné, že teplota nebyla dostatečně velká na to, aby způsobila vymězení provozních vůlí a zadření. Zvláště v oblasti, kde se nachází pátý a reverzní převodový stupeň dosahovala teplota pouze cca 74,9 °C.



Obr. 72 Snímek z termokamery, převodová skříň [vlastní]

5.4 NISSAN SUNNY

Na automobilu Nissan Sunny proběhl experiment zaměřený na chod motoru bez chladící kapaliny. Automobil byl vyroben v roce 1995. Tachometr zobrazoval hodnotu 238 170 km. Současně byla měřena doba, po které došlo k zastavení motoru. Testovaný automobil je zobrazen na **Obr. 73**.



Obr. 73 Nissan Sunny [51]

Na **Obr. 74** je zobrazen pohonný agregát z Nissanu Sunny. Jedná se o atmosféricky plněný vznětový čtyřválec se zdvihovým objemem 1974 cm³. Blok motoru je vyroben z litiny s lupínkovým grafitem. Hlava válců z hliníkové slitiny je osazena osmi ventily a jedním vačkovým hřídelem. Motor byl v automobilu uložen příčně.



Obr. 74 Motor Nissan CD20 [59]

V **Tab. 13** jsou uvedeny parametry testovaného automobilu Nissan Sunny.

Tab. 13 Parametry automobilu Nissan Sunny [59] [51]

Výrobní značka	Nissan
Model	Sunny
Druh	Osobní (kat. M1)
Motor	CD20, řadový čtyřválec
Objem	1974 cm ³
Výkon	55 kW / (4800 ot./min)
Točivý moment	132 Nm / (2800 ot./min)
Karoserie a převodovka	Sedan, manuální 5°
Rok výroby	1995
VIN	0113124
Stav tachometru	238 170 km

5.4.1 Průběh testu Nissan Sunny

Z chladicí soustavy byla vypuštěna chladicí kapalina a zachycena do sběrné nádoby. Motor nebyl před začátkem testu uveden do chodu a teplota vypuštěné chladicí kapaliny odpovídala teplotě okolního prostředí. Následně byl motor uveden do chodu. Udržované otáčky motoru byly v rozmezí 3400–3800 otáček za minutu. Automobil stál na místě a nepohyboval se. Nebyla simulována žádná zátěž. Současně nedocházelo k chlazení proudícím vzduchem.

Chování motorového ústrojí v průběhu testu

Tab. 14 Nissan Sunny průběh testu [51] [40]

<u>Čas [mm:ss]</u>	<u>Popis projevů motorů během testu</u>
00:12	Začátek zvyšování teploty.
01:08	Dosaženo maximální provozní teploty na teploměru chladicí kapaliny automobilu.
01:46	Docházelo ke zvýšenému tření a zadírání. Bylo obtížné udržet chod motoru při konstantních otáčkách. Kmitání otáček v rozmezí 3500-4500 otáček za minutu.
01:52	Překročení stupnice teploměru chladicí kapaliny.
03:25	Nejvyšší naměřena teplota v oblasti motorového prostoru pomocí termokamery. 150 °C.
04:16	Samovolné zastavení motoru. Předpokládané zadření v oblasti pístní sady.

5.4.2 Následky opotřebení

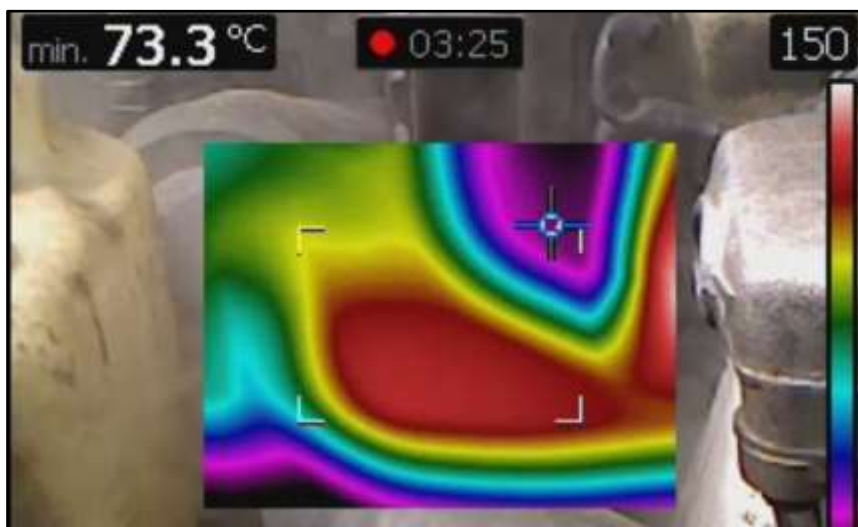
Na **Obr. 75** je zobrazena přístrojová deska automobilu Nissan po ukončení testu. V případě tep-
loměru chladicí kapaliny došlo k překročení polohy ukazatele za hodnotu označující přehřívání (červené
pole). Je nutné mít na vědomí měřicí odchylku, vzniklou v důsledku absence chladicí kapaliny v chladicí
soustavě. Čidlo zaznamenávalo pouze teplotu okolního vzduchu obklopujícího čidlo uvnitř chladicí sou-
stavy.



Obr. 75 Přístrojová deska po ukončení testu [51]

Na **Obr. 76** je zobrazen snímek z termokamery Fluke TiX 580 snímající oblast motorového pro-
storu. Nejvyšší teplota byla zaznamenána po uplynutí času tři minuty a dvacet pět sekund (3:25) od
zahájení testu. Teplota činila 150 °C.

K samovolnému zastavení motoru došlo v důsledku zadření v čase čtyři minuty a šestnáct sekund
(4:16). Současně nedošlo k žádnému vnějšímu poškození motorového agregátu ani k destrukci pohybu-
jících se částí. Je předpoklad zadření v oblasti pístní sady, kde docházelo k abrazivnímu opotřebení v dů-
sledku vysoké teploty, která způsobila vymezení provozních vůlí.



Obr. 76 Záběr z termokamery motor Nissan [51]

6 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

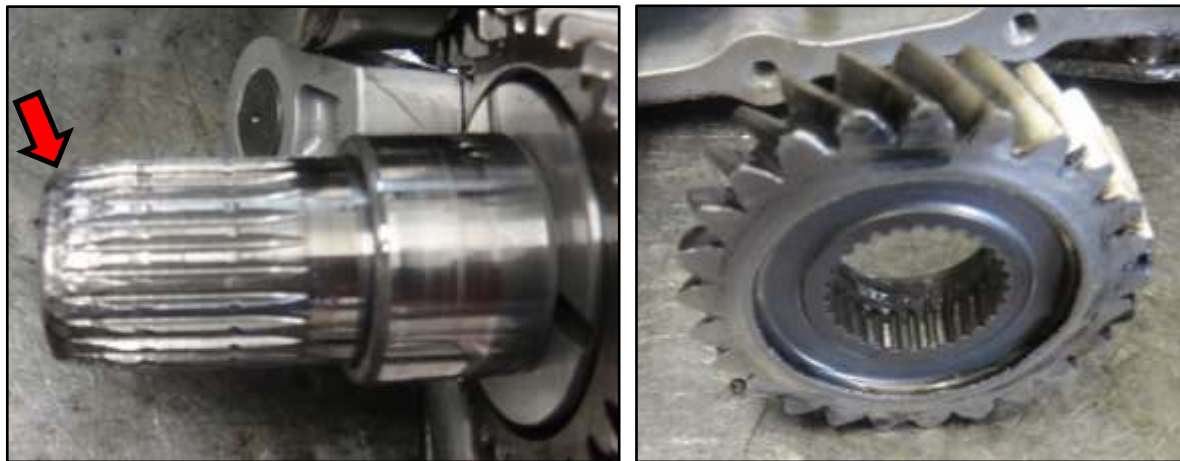
Pokud dojde k absenci provozních kapalin zajišťující bezproblémový provoz, nastává nenávratné poškození důležitých součástí motoru nebo převodového ústrojí. Na základě literárních rešerší byla potvrzena skutečnost, kdy olej v motoru neplní pouze funkci mazání, ale v důležité míře se podílí i na chlazení. Pokud dojde k nedostatku oleje, dochází k zvýšenému tření v třecích uzlech. To způsobuje lokální nárůst teploty. V důsledku absence oleje nedochází k distribuci vytvořeného ztrátového tepla. Tuto skutečnost popisuje experiment, který je uveden v *kap. 4.2.1*. Koncentrované teplo zvyšuje tepelnou roztažnost. Tím jsou vytvořeny ideální podmínky pro zadírání součástí. Tento negativní jev je současně podporován teplem vzniklým během spalovacího procesu. Lze konstatovat, že olej musí plnit funkci jako mazivo ale současně i jako chladiivo.

Z experimentů provedených na motorovém ústrojí vyplývá jako kritický mazací uzel ojnicí čep na klikovém hřídeli. V téměř většině případů dochází k poškození právě v této oblasti viz *kap. 5.1.2* a *5.2.2*. Tato skutečnost je celkem pochopitelná. Uložení je řešeno jako kluzné s nižší odolností proti zadírání a současně zde dochází k silnému namáhání na otlacení v důsledku expanzních tlaků. Poškozená ojnice je zobrazena na *Obr. 53 až 56*. Opotřebení ojnicího čepu je zobrazeno na *Obr. 57*. Naopak předpoklad opotřebení vačkového hřídele jako první součásti po úniku oleje se nepotvrdil viz *kap. 5.1.2*. Na *Obr. 59* jsou ještě patrné zbytky olejového filmu. Pro poškození vačkového hřídele lze uvažovat vzdálenost v mazacím okruhu od olejového čerpadla a naopak proti poškození lze konstatovat nižší otáčky (vůči klikovému hřídeli poloviční) a nižší namáhání. Navzdory tomu, pokud nastane poškození palce vačky vlivem tření, byla tato skutečnost pravděpodobně způsobena volbou nesprávného maziva a ne jeho nedostatkem. Především nevhodně zvolenou viskozitou oleje vzhledem k povětrnostním podmínkám nebo volbou neschváleného typu oleje. Například pro motory TDI PD je téměř bezpodmínečně nutné používat oleje klasifikované dle normy VW 505.01, VW 506.01. V opačném případě hrozí nenávratné opotřebení vačkového hřídele viz *kap. 4.2* (Opotřebení vačkového hřídele) a opotřebení palce vačky je znázorněno na *Obr. 32*.

Z experimentů zaměřených na dobu provozu motoru bez chladicí kapaliny vyplynulo poškození v oblasti pístní sady. Zastavení motoru nastalo v důsledku abrazivního tření pístu, pístních kroužků a válce. To i za předpokladu že jednotlivá místa byla dokonale mazaná. Vlivem nedostatečného chlazení a přehřívání začaly pohybující se součásti zvětšovat svůj objem a vymezovat provozní vůle. To způsobilo ztrátu stability olejového filmu a jeho odpaření. Píst se ve válci pohyboval tzv „na sucho“ viz *kap. 4.3* (Opotřebení pístní skupiny). Zadření v důsledku přehřívání nastává za delší časový úsek než v případě zadření v důsledku nedostatku oleje. To lze vysvětlit tím, že k zadírání dochází až po odpaření olejového

filmu. Jako nejzávažnější a nejčastější závadu způsobenou přehřátím lze určit poškození hlavy válců. Dochází k ztrátě rovinnosti, případně k vzniku závažných mikrotrhlin viz kapitola 4.3 (Deformace hlavy válců). Mikrotrhliny vznikají v důsledku tepelné dilatace hlavy válců, která není rovnoměrně prohřáta. Mikro trhliny jsou velmi nebezpečné tím, že za pokojové teploty nejsou zcela zřetelné a jejich výskyt se často projevuje až po úplném prohřátí hlavy válců. Lze je identifikovat pouze pomocí odpovídajících diagnostických metod.

V experimentu zaměřeném na dobu provozu převodového ústrojí bez převodového oleje se projevila jistá konstrukční odolnost převodového ústrojí jako celku vzhledem k danému problému. To lze objasnit minimem součástí, kde dochází ke kluznému pohybu. Naopak ve velké míře je zastoupen pohyb valivý. Ozubená kola používaná v převodových skříních osobních automobilů používají šikmé ozubení, (vyjma reverzního stupně) s vyšším součinitelem trvalého záběru a odvalují se po zubové křivce. Nedochází zde ke smýkání. Uložení hřídelů s ozubenými koly je řešeno pomocí valivých ložisek s vyšší odolností vůči zadírání. Pokud i přesto dojde k poruše a znemožnění otáčení ozubených kol vlivem nedostatku maziva, nastalo zadření nejpravděpodobněji v oblasti uložení. Zadření dvou spolu zabírajících kol je méně pravděpodobné. S výjimkou kolize, kdy dojde k vniknutí uvolněného předmětu mezi dvě spolu zabírající kola. Například ulomená část ozubení nebo jiné součásti uvnitř převodové skříně. Takové poškození je nezdědkou způsobeno necitlivým zacházením zvláště v kontrastu výkonného motoru a převodové skříně, kde její součásti nebyly předimenzovány. Zvláště na nižší převodové stupně točivý moment nadměrně namáhá slabší konstrukční celky převodového ústrojí. Jako příklad lze uvést převodovku BorgWarner GR6 osazenou do automobilu Nissan GTR. Specialista na automatické převodovky společnost Kaps Automatic na svých stránkách mj. uvádí „Jedná se o 6-ti stupňovou synchronní převodovku s dvojčinnou spojkou a integrovaný mezinápravový diferenciál sloužící k přenosu na přední náhon. Vysoká hodnota krouťícího momentu motoru však mnohdy překoná jednotlivé součásti převodovky a dochází k selhání převodového ústrojí.“ [81]. Na **Obr. 77** je uvedena hnaná hřídel a vložené kolo z převodovky GR6. Červená šipka označuje původní místo drážky pro pojistný kroužek. Zajištění vloženého kola je



Obr. 77 Poškozené drážkování hnané hřídele a vložené kolo [82]

provedeno vnějším hřídelovým pojistným kroužkem. Jde o velmi poddimenzovanou součást a obecně velmi náchylnou k prasknutí. Z obrázků je patrné poškození drážkování hřídele (*vlevo*) i vnitřní drážkování vloženého kola (*vpravo*). Poškození nastalo v důsledku axiálního posuvu vloženého kola při přenášeném točivém momentu.

Na základě internetových zdrojů bylo vyhodnoceno celkem devět automobilů, na kterých proběhl experiment zaměřený na dobu provozu motoru bez motorového oleje. Jednalo se o automobily se zážehovými motory s atmosférickým plněním a zdvihovým objemem 1 400 cm³ až 1 800 cm³. Automobily byly již staršího data výroby s různými kilometrovými nájezdy a pravděpodobně odlišně opotřebovanými motory. Kilometrové nájezdy a stav motoru nebyl znám. Experiment byl proveden bez zařazeného převodového stupně s nastavenou maximální dávkou paliva. Automobily jsou uvedeny v *příloze 1* na **Obr. 79 až 87** včetně parametrů uvedených v **Tab. 18 až 26**.

Tab. 15 Vyhodnocení doby provozu bez motorového oleje [40]

	Vozidlo	Pokles otáček [mm:ss]	Ztráta otáček [mm:ss]	Zadření [mm:ss]
1.	Volkswagen polo III.	00:07	00:20	01:19
2.	Renault Megane Mk. I	00:23	00:47	00:50
3.	Opel Corsa B	00:16	00:43	00:45
4.	Ford Escort Mk. VI	00:04	00:14	00:21
5.	Volkswagen Golf III.	00:18	00:33	00:43
6.	Rover 600	00:11	00:19	00:28
7.	Ford Mondeo Mk. I	00:09	00:26	00:31
8.	BMW E36 318i	00:13	00:47	00:55
9.	10. Daewoo Lanos	00:04	00:13	00:41
Průměrný čas projevu motoru		0:11	0:29	0:43

V **Tab. 15** jsou uvedeny jednotlivé časy ve kterých docházelo ke změně projevu chodu motoru. Poklesem otáček je rozuměno první snížení otáček vlivem vznikajícího tření. Ztráta otáček označuje čas, kdy dochází k citelnému zadírání v ložiskách, v ložiskových pánvích nebo v oblasti pístní skupiny. Jde o jev často doprovázený unikem dýmu a odpařováním zbytků oleje. Zadření znázorňuje čas, kdy nastalo samovolné zhasnutí motoru v důsledku mezního tření. Případně následkem poškození motorových součástí. Nejčastěji vlivem zadření v oblasti ojnicího čepu. Vzhledem k absenci informací o skutečném stavu jednotlivých automobilů, nelze vytvořit obecné závěry o tom, které typy motorů jsou více či méně odolné vůči nedostatku oleje. Na základě vypočtených průměrných hodnot z jednotlivých měření, které dají určitou představu o chování motoru bez olejové náplně vyplynula doba, ze které lze s jistotou konstatovat, že zadření, destrukce motoru nenastává bezprostředně po úniku motorového oleje.

V příloze 2 na **Obr. 88 a 89** jsou znázorněny dva automobily včetně parametrů viz **Tab. 27 a 28** které byly testovány na dobu provozu bez chladící kapaliny. V obou případech byly automobily vybaveny zážehovými motory. U automobilů již staršího data výroby nebyly známy kilometrové nájezdy, ani stav pohonného ústrojí. Experiment spočíval v provozu motoru na místě, bez zařazeného převodového stupně s nastavenou maximální dávkou paliva.

Byla sledována tři projevy. Čas, kdy začalo docházet k odpařování zbytků chladící kapaliny, kterou se nepodařilo vypustit z chladicí soustavy. Dále čas, kdy v oblasti motorového prostoru začalo docházet ke zvýšené tvorbě dýmu, včetně oblasti odvětrání klikové skříně. V posledním případě byl sledován čas, kdy došlo k zastavení, zadření motoru. Jednotlivé časy jsou uvedeny v **Tab. 16**. Z výsledků vyplývá několikanásobně delší čas, kdy došlo k finálnímu poškození než v případě chodu motoru bez motorového oleje.

Tab. 16 Vyhodnocení doby provozu bez chladící kapaliny [40]

	Vozidlo	Odpařování zbytků chladící kapaliny [mm:ss]	Dým v motorovém Prostoru [mm:ss]	Zadření [mm:ss]
1	Fiat Punto Mk. I	00:11	04:13	05:33
2	Opel Corsa B	00:42	02:45	04:48
	Průměrný čas projevu motoru	0:26	3:29	5:10

Pro úplnost je nutno uvést zahraniční experiment, který proběhl na automobilu Mercedes-Benz C 180 vyrobeném v roce 1994 s nájezdem více než 200 000 mil (cca 321 869 km). Automobil byl osazen zážehovým čtyřválcovým motorem s výkonem 121 koní. Po vypuštění motorového oleje byla zahájena jízda po uzavřeném okruhu. Po čtyřech minutách (4:00) jízdy je uvedena zvýšená hluchost, kdy motor svými zvukovými projevy připomínal vznětový agregát. Po deseti minutách (10:00) jízdy se automobil stále pohyboval po uzavřeném okruhu. Zastavení vozidla nastalo až po uplynutí doby sedmnácti minut (17:00) jízdy. Došlo k zadření v místě ojnicního čepu a proražení spodního víka motoru. [84]

Na následující straně na **Obr. 78** je zobrazen otvor ve spodním víku motoru (*vlevo*), kdy vlivem zadření ojnice na ojnicním čepu došlo k proražení spodního víka motoru. (*Vpravo*) je zobrazena poškozená ojnice z automobilu Mercedes-Benz C 180. Ojnice je zachycena na vozovce po ztrátě z klikové skříně. Z obrázku je patrná deformace paty ojnice a otvorů pro ojnicní šrouby které slouží pro spojení víka a paty ojnice.



Obr. 78 Otvor ve spodním víku motoru (vlevo). Poškozená ojnice zachycena na vozovce (vpravo) [83]

Porovnáním časových úseků z experimentu zaměřeného na ztrátu motorového oleje z vlastních zdrojů a již dříve publikovaných nastává citelný rozdíl v době, za kterou dojde k destrukci/zadření motoru. V případě Škody Octavie byla doba životnosti do destrukce dvě minuty a dvacet šest sekund (2:26). V případě Hondy Civic rovné dvě minuty (2:00). V případě již publikovaného experimentu byla zvolena průměrná hodnota, tedy čtyřicet tři sekund (0:43). Mercedes-Benz C 180 vydržel více než sedmnáct minut (17:00) jízdy na okruhu. Ukazuje se zde jistá nepřímá úměra, kdy vozidlo za jízdy vydrželo znatelně více než vozidlo testované na místě. Tím je vyvrácen původní předpoklad, kdy vozidlo jedoucí (předpoklad větší namáhání motoru) vydrží menší časový úsek. Může zde být jisté ovlivnění otáčkami motoru. U automobilu stojícího na místě je motor bez zátěže a dochází k jeho přetáčení. Naopak u pohybující se automobilu jsou vlivem jízdních odporů otáčky motorů nižší. Porovnáním experimentů zaměřených na ztrátu chladicí kapaliny z vlastního experimentu u Nissan Sunny byl naměřen čas čtyři minuty a šestnáct sekund (4:16) v případě cizích experimentů činil průměr pět minut a deset sekund (5:10). Zde naopak byl čas u vlastního provedení experimentu kratší než v případě již dříve provedeného.

Jako závěr k výše uvedeným skutečnostem lze konstatovat pouze to, že není možné přesně stanovit čas, za který dojde k destrukci motoru a to z následujících důvodů. Stejně jako ve skutečném provozu nebyly stanoveny naprosto identické podmínky. Jednalo se o zcela odlišné automobily s odlišně opotřebovanými motory. Automobily pohybující se v reálném provozu se zřídka kdy pohybují stejnou rychlostí se stejnými otáčkami motoru a se stejným zařazeným převodovým stupněm. Nezanedbatelný vliv mají i jízdní odpory které mohou být i u stejného typu automobilu odlišné. Například podhuštěné pneumatiky, otevřené okénko, nevracející se brzdové třmeny a podobně. Tyto skutečnosti mohou ovlivňovat výslednou dobu životnosti motoru.

Pouze pro názornost je zde vyjádřena životnost motoru s přepočtem na ujeté kilometry. Jako etalon byla zvolena Škoda Octavia. Provozní parametry experimentu jsou uvedeny v **Tab. 17**

Tab. 17 Škoda Octavia vyjádření životnosti motoru na ujeté vzdálenosti [40]

Škoda Octavia vyjádření životnosti motoru na ujeté vzdálenosti	
Životnost motoru [t]	146 sekund
Rychlost [v]	90 km . h ⁻¹ / 25 m . s ⁻¹
Zařazený rychlostní stupeň	4°
Otáčky motoru	4000 min ⁻¹
Ujeta vzdálenost (s= v . t)	3 650 m

Pokud by byla Škoda Octavia vystavena stejným provozním podmínkám jako během experimentu, dokázala by bez olejové náplně ujet vzdálenost 3 650 m než by nastala destrukce motoru.

Navzdory experimentům ve kterých bylo objasněno, že finální destrukce motoru nastává až po uplynutí doby jízdy v řádech minut. Je dobré mít na paměti, že prvotní opotřebení mohou nastat již po velmi krátké době po úniku provozní kapaliny. Uvažováno pro chladivo i mazivo. Pro předcházení vzniku následných nepříjemných situací souvisejícími s vysokými náklady na opravu, lze doporučit prevenci která dokáže předejít, případně snížit poškození.

1. Udržovat hladinu oleje a chladiva na předepsané hodnotě. Zvláště při předpokládané jízdě na delší vzdálenost.
2. Respektovat signalizaci na přístrojové desce značící nedostatek provozní kapaliny.
3. Mít k dispozici olej, chladicí směs na dolití zvláště jsme-li seznámeni se situací, kdy dochází k úbytku.
4. Pokud již dojde k úniku oleje neprodleně vypnout motor a zastavit vozidlo s přihlédnutím na okolní situaci. Bezprostředně doplnit olej.
5. Při přehřívání zvolnit jízdní styl a usilovat o ochlazení motoru například jízdou z kopce. Pokud nedochází k úniku chladicí kapaliny nevypínat motor, aby byla umožněna cirkulace chladiva pomocí čerpadla chladicí kapaliny. Motor vypnout pouze v případě kdy dochází k úniku chladicí kapaliny. Poté nechat motor spontánně ochladit. Nikdy nedolévat studenou vodu/chladicí směs do přehřátého motoru!!! Hrozí poškození hlavy válců.

ZÁVĚRY

Úvodní literární rešerše poskytuje přehled o fungování chladicí a mazací soustavy automobilu včetně jejich důležitých součástí. Současně je nastíněna problematika optimálního mazání součástí a důsledků, kdy optimální mazací podmínky splněny nebyly. Došlo k vyhodnocení zdrojů zabývajících se experimentem zaměřeným na dobu provozu motoru bez olejové náplně a chladicí kapaliny.

V experimentální části práce byly experimentu podrobeny čtyři automobily. U automobilů Škoda Octavia a Honda Civic byl experiment zaměřen na chod motoru bez motorového oleje. Automobil Alfa Romeo 147 byl podroben experimentu zjišťující chování převodového ústrojí bez převodového oleje. Na automobilu Nissan Sunny proběhl experiment zaměřený na chod motoru bez chladicí kapaliny. Z experimentální části vyplývá doba životnosti motoru bez olejové náplně přibližně dvě minuty. V případě Škody Octavie dvě minuty a dvacet šest sekund (2:26) a v případě Honda Civic rovné dvě minuty (2:00). V obou případech došlo k zadření v oblasti ojnicního čepu a destrukci spodního víka motoru nebo bloku motoru.

V případě automobilu Alfa Romeo 147 byl proveden experiment zaměřený na dobu provozu převodového ústrojí bez převodového oleje. Test byl ukončen po třiceti minutách (30:00), kdy nedošlo k tak závažnému poškození, které by znemožnilo další použití. Z toho lze vyvodit závěry, kdy v případě náhlého úniku převodového oleje nedojte v žádném případě k okamžitému zadření. Ale opotřebení bude nastupovat postupně a bude se projevovat obtížnou změnou převodových stupňů a zvýšenou hlučností.

Na automobilu Nissan Sunny proběhl experiment zaměřený na dobu provozu motoru bez chladicí kapaliny. Časový úsek do zastavení činil čtyři minuty a šestnáct sekund (4:16). Zadření nastává v důsledku přehřátí, kdy nejprve dochází k odpařování olejového filmu a následně k samotnému abrazivnímu opotřebení. Z tohoto důvodu je čas samovolného zastavení motoru delší než v případě, kdy dojde úniku motorového oleje.

Vzájemným porovnáním vlastních a již dříve publikovaných experimentů došlo k velmi rozdílným naměřeným hodnotám týkajících se doby provozu. Jednalo se o paradox. Automobily, které se během experimentu nepohybovaly, měli kratší dobu životnosti pohonného ústrojí než automobily, které byly vystaveny zatížení. Původní předpoklad byl přesně opačný. Mohla se zde projevit jistá souvislost mezi otáčkami a životností motoru. U motoru, který nebyl zatěžován, docházelo k přetáčení a vlivem větších otáček měl snahu zadřít se na ojnicním čepu, než motor s nižšími otáčkami i navzdory zatížení. Pocho-pitelně všechny testované automobily nebyly ve stejném technickém stavu, obdobně jako v reálném provozu. Opotřebení mohla výslednou dobu ovlivnit. Z toho lze usuzovat, že dobu životnosti nelze zcela přesně stanovit.

V celkovém závěru lze konstatovat, že pokud dojde k úniku provozní kapaliny během chodu pohonného ústrojí, obvykle vždy dojde k jisté formě opotřebení. Navzdory tomu, fatální poškození nastávají až po uplynutí doby, v řádech minut včetně symptomů předpovídající poruchu. Závažné poškození nikdy nenastává bezprostředně po okamžiku úniku provozní kapaliny. V mnoha situacích lze fatálnímu poškození předcházet bystrým úsudkem, správným vyhodnocením situace a uvedením vozidla do klidu, pokud to situace umožňuje. Tím lze snížit škody napáchané škody.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [84]

- [1] Singer VehicleDesign. In: *Hiconsumption* [online]. 2017 [cit. 2019-09-09]. Dostupné z: <https://hiconsumption.com/singer-x-williams-500-hp-air-cooled-engine/>
- [2] PROCTOR, Charles Lafayette a Orville C. CROMER. Gasoline engine. *Encyclopædia Britannica* [online]. The United Kingdom: Encyclopædia Britannica, 2019 [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/gasoline-engine>
- [3] *Oleje-pema* [online]. Ostrava: Autodíly Pema, c2010-2019 [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <https://www.oleje-pema.cz/cs/o-olejich.html#.XZSvouJMSUk>
- [4] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [5] The function of hydrodynamic lubrication. In: *Machinery lubrication* [online]. USA, 2014 [cit. 2019-09-11]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29654/journal-bearing-oil>
- [6] ŠAFR, Emil. *Technika mazání: určeno mechanikům, mazacím technikům, údržbářům a dílenským konstruktérům*. 2., dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. Řada teoretické literatury.
- [7] Lubrication Regimes Explained. In: *Machinery Lubrication* [online]. USA: Noria Corporation [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30741/lubrication-regimes>
- [8] HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. II. series. New York: McGraw-Hill, c1988. ISBN 00-702-8637-X.
- [9] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [10] Typical gasoline engine lubrication system. In: *Pbslearningmedi* [online]. [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://www.pbslearningmedia.org/resource/141483247-science-technology/typical-gasoline-engine-lubrication-system-science-and-technology/>
- [11] Configurinan a dry sump oil system. In: *Turnology* [online]. Murrieta (USA): Power Automedia, 2017 [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://www.turnology.com/tech-stories/pros-and-cons-of-installing-a-dry-sump-engine-oiling-system/>
- [12] Zubové čerpadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zubov%C3%A9_%C4%8Derpadlo
- [13] LAŇKA, Jarmil. *Využití nanovláken pro filtraci oleje ve spalovacím motoru*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Jakub Hruža, Ph.D.
- [14] Olejový filtr: průvodce výběrem. *Autodoc* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://www.autodoc.cz/info/olejovy-filtr-pruvodce-vyberem>
- [15] Engine oils and their filters. *Machinery lubrication* [online]. USA: Noria [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31395/engine-oils-filters>
- [16] TOMÁŠ, Krejčí. *Mazání vznětových a zážehových motorů*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta Strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.
- [17] Valves in oil filtres. *Filtron* [online]. Gostýn: MANN+HUMMEL FT Poland, 2017 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <https://filtron.eu/en/about-us/tips-for-mechanics/valves-in-oil-filters---find-out-about-their-functions-and-effects>
- [18] Lubricants and lubriication systems [online]. In: . San Francisco: Maritime Park Association, 2007, s. 129-158 [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://maritime.org/doc/fleetsub/diesel/chap7.htm>

- [19] Vstřikovací systém čerpadlo-tryska. *Elektronická učebnice* [online]. Olomouc, 2015 [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1468>
- [20] DUSIL, Tomáš. Legendární hliníkový motor Škoda slaví 55 let (2. část): Vydržel až do Fabie. *Auto.cz* [online]. Czech news center, 2019 [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/legendarni-hlinikovy-motor-skoda-slavi-55-let-2-cast-vydrzel-az-do-fabie-128810>
- [21] HÖSCH, William L., ed. Cooling system. *Britannica* [online]. The United Kingdom: Encyclopædia Britannica [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/cooling-system>
- [22] PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav I* [online]. 1. Nový Jičín: Střední škola technická a zemědělská, 2015 [cit. 2019-11-12]. ISBN 978-80-88058-23-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/08.html>
- [23] Vložený válec. In: *Technologie oprav* [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/08.html>
- [24] SKOLIL, Jan. Nemrznoucí chladicí kapaliny. *Tribotechnika* [online]. Kladno: TechPark, c2008-2020, 2018 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52013/nemrznouci-chladici-kapaliny.html>
- [25] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 80-707-8883-6.
- [26] TRIBODIAGNOSTIKA. *Diagnostika stroju* [online]. Ostrava [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://diagnostikastroju.cz/tribodiagnostika/>
- [27] MAREK, Vladislav a Vladimír NOVÁČEK. *Tribotechnická diagnostika*. [Praha: Dům techniky ČSVTS, 1986]. ISBN X2-0912.051.
- [28] STRAKA, Bedřich. *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1986.
- [29] NOVÁČEK, Vladimír. Analýzy motorových olejů z naftových motorů. *Tribotechnické informace*. 2010, **2010**(1), 4.
- [30] Kapková zkouška oleje. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/kapkova-zkouska-oleje/>
- [31] ČERNÝ, Jaroslav. Když se řekne: základové oleje. *Oleje.cz* [online]. VŠCHT Praha [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>
- [32] Popis automobilových maziv. *Oleje.cz* [online]. Brno: Ekolube [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Popis-automobilovych-maziv>
- [33] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: HTHS viskozita a lehkoběžné oleje. *Oleje.cz: Svět maziv* [online]. Brno: Ekolube, c2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---HTHS-viskozita-a-lehkobezne-oleje>
- [34] Viscosity grade engine oil. In: *Penrite* [online]. Australia: Penrite Oil, c2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: https://www.penriteoil.com.au/assets/wiki_imgs/vbPGa02nIR
- [35] ČERNÝ, Jaroslav. Porovnání klasifikací automobilových motorových olejů. *Oleje.cz* [online]. Brno: Ekolube, c2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Porovnani-klasifikaci-automobilovych-motorovych-oleju>
- [36] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů: Viskozita. *Oleje.cz: Svět maziv* [online]. Brno: Ekolube, C2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/517>
- [37] Výkonové klasifikace motorových olejů. *Paramo* [online]. Pardubice: Paramo, 2014 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://eshop.paramo.cz/rady-odbornika/vykonove-klasifikace.aspx>

- [38] Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů. *Oleje.cz: Svět maziv* [online]. Brno: Ekolube, c2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>
- [39] Acea european oil sequences. *Acea* [online]. Brussels: Acea, c2020, 2016 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_European_oil_sequences_2016.pdf
- [40] *[vlastní zdroj]*
- [41] FAMFULÍK, Jan, Jana MÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK. Opotřebení strojních součástí. *Teorie údržby* [online]. Ostrava: VŠB-TUO [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/4kapitola.pdf>
- [42] True Oil Drop. In: *Truelubricants* [online]. Germiston: True Lubricants [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <http://www.truelubricants.co.za/true-oil-drop/>
- [43] Damage due to engine running. *MS Motorservice* [online]. Neuenstadt (Germany): Rheinmetall Automotive, 2018 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Engine-run-in-at-idle-An-open-invitation-to-component-damage_54545.pdf
- [44] Damage diagnosis: Pistons. *MS Motorservice* [online]. Neuenstadt (Germany): Rheinmetall Automotive, 2015 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Piston-damage-and-causes_52102.pdf
- [45] Jak předcházet závadám vačkových hřídelů. *Vačkové sady* [online]. Chlumec: Ks motor [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.vackovesady.cz/jak-predchazet-zavadam-vackovych-hridelu/>
- [46] PD engine Issues. *Joe Blogs* [online]. 2015 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://joe-blogs.co/2015/10/11/vw-golf-tdi-pd-engine-issues/>
- [47] Opotřebený ojnicí čep klikového hřídele. In: *Motorkari.cz* [online]. Praha: Motorkáři, c2001-2020 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/tema/?t=121643&pgr=1>
- [48] When Is an Engine overheated and why, Part-I. *Agco Automotive* [online]. Baton Rouge (Louisiana): AGCO Automotive Corporation, ©2020 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/227
- [49] When Is an Engine overheated and why, Part-II. *Agco Automotive* [online]. Baton Rouge (Louisiana): AGCO Automotive Corporation, c2020 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/228
- [50] MLS Cylinder head Gaskets and Damage Analysis. *Glaser* [online]. Zaragoza (Spain) [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://glaser.es/EN/Service-Downloads/Practical-Information/MLS-Cylinder-head-Gaskets-and-Damage-Analysis.aspx>
- [51] *Ústav soudního inženýrství - Archiv: VUT v Brně*. Brno
- [52] Motory Mazda 2.0 MZR-CD a 2.2 MZR-CD:. *Auto.cz* [online]. Czech News Center, c2001-2020, 2019 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/motory-mazda-2-0-mzr-cd-a-2-2-mzr-cd-odolny-s-nekolika-vyjimkami-128390>
- [53] Common rail injector: Denso. In: *Indiamart* [online]. India [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/denso-common-rail-injector-11372630597.html>
- [54] What happens to an engine without oil? *Youtube* [online]. California: Google, 2005 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=eASCK9BDMEU>
- [55] Tepelná bilance spalovacího motoru. *DSpace* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, c2002-2012 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/149326/51bilancepreplnovani.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

- [56] Škoda Octavia 1.8 92kW. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://skoda.katalog-automobilu.cz/automobil/skoda-octavia-1-8-92kw>
- [57] Honda Civic V 1.4iS 66kW. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://honda.katalog-automobilu.cz/automobil/honda-civic-v-1-4is-66kw>
- [58] Alfa Romeo 147 1.6 TS. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://alfa-romeo.katalog-automobilu.cz/automobil/alfa-romeo-147-16-ts>
- [59] Nissan CD20. *Enginespecs* [online]. Engine-Specs, c2016-2019 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.engine-specs.net/nissan/cd20.html>
- [60] VW Volkswagen German Car Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Yoy6qetpXtE>
- [61] Renault Megane Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Eg0EhQ6R3F8>
- [62] GM General Motors OPEL Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=08_GBI689gs
- [63] Blown engine Ford Escort Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=3KL1HHlekCw>
- [64] Rover Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=FFAy5wOZTAI>
- [65] VW Volkswagen Golf Jetta Engine Running NO OIL - NO SUMP. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=W0WFqlawJk4>
- [66] Ford Mondeo without oil high speed engine failure Engine Running NO OIL. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=qrLTH_7doyQ
- [67] Blown engine BMW 3er engine failure without oil Running NO. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=bHnVGX6FVzQ>
- [68] Blown engine BMW 3er engine failure without oil Running NO. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ahCvQFamly8>
- [69] Punto redline blowup with no coolant. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=l1qfmwoTAFc>
- [70] General Motors Opel corsa Part 2 motor runs without water demolition due to fire. *Youtube.com* [online]. USA: Google, 2005 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=9fTIHQpUm-U>
- [71] Volkswagen Polo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Polo#Mk2_Polo_GT_G40_and_Mk2F_Polo_G40
- [72] Renault Mégane I 1.6, 55 kW. *Driveto* [online]. Praha: driveto.cz, 2017 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.driveto.cz/renault/megane/megane-i-1996-1999/1-6-55-kw-benzinovy-predni-manualni/>
- [73] Opel Corsa (B) 1.2 33kW. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://opel.katalog-automobilu.cz/automobil/opel-corsa-b-1-2-33kw>
- [74] Ford Escort VI 1.6 16V. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://ford.katalog-automobilu.cz/automobil/ford-escort-vi-1-6-16-v>
- [75] Rover 600 Series. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rover_600_Series

- [76] Volkswagen Golf III 1.6 55kW. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://volkswagen.katalog-automobilu.cz/automobil/volkswagen-golf-iii-1-6-55kw>
- [77] Ford Mondeo 1.8i. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://ford.katalog-automobilu.cz/automobil/ford-mondeo-18i>
- [78] BMW 3 (E36) 318i. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://bmw.katalog-automobilu.cz/automobil/bmw-3-e36-318i>
- [79] Daewoo Lanos 1.5. *Katalog-automobilu* [online]. Praha: HyperMedia, c2003-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://daewoo.katalog-automobilu.cz/automobil/daewoo-lanos-15>
- [80] Fiat Punto. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fiat_Punto
- [81] Převodovka GTR. *Kaps Automatic* [online]. Brno, c2020 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <http://www.kaps-gtr.com/prevodovka-gtr>
- [82] *Kaps Automatic* [online]. Brno, c2020 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.kaps.cz>
- [83] How long will this mercedes run with no oil? *MBWorld* [online]. USA, c2020 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://mbworld.org/articles/long-will-mercedes-run-no-oil/>
- [84] *Citace PRO* [online]. Brno: 2004, 2016 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.citace.com>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Aktuální výkonové třídy dle API pro zážehové motory	27
Tab. 2 Aktuální výkonové třídy dle API pro vznětové motory	27
Tab. 3 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro vznětové a zážehové maloobjemové motory	28
Tab. 4 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro maloobjemové motory kategorie tzv „low-SAPS“	28
Tab. 5 Aktuální výkonové třídy dle ACEA pro velkoobjemové motory kategorie	29
Tab. 6 Dílčí teplo zážehového a vznětového motoru	49
Tab. 7 Parametry automobilu Škoda Octavia I.	57
Tab. 8 Škoda Octavia průběh testu	59
Tab. 9 Parametry automobilu Honda Civic Mk. V	64
Tab. 10 Honda Civic průběh testu	65
Tab. 11 Parametry automobilu Alfa Romeo 147	67
Tab. 12 Alfa Romeo 147 průběh testu	69
Tab. 13 Parametry automobilu Nissan Sunny	72
Tab. 14 Nissan Sunny průběh testu	72
Tab. 15 Vyhodnocení doby provozu bez motorového oleje	76
Tab. 16 Vyhodnocení doby provozu bez chladící kapaliny	77
Tab. 17 Škoda Octavia vyjádření životnosti motoru na ujeté vzdálenosti	79

Příloha 1

Tab. 18 Parametry VW Polo III.	
Tab. 19 Parametry Renault Megane I..	
Tab. 20 Parametry Opel Corsa B	
Tab. 21 Parametry Ford Escort Mk. VI	
Tab. 22 Parametry Rover 600	
Tab. 23 Parametry Volkswagen Golf III.	
Tab. 24 Parametry Ford Mondeo Mk. I	
Tab. 25 Parametry BMW E36 318i 81	
Tab. 26 Parametry Daewoo Lanoos	

Příloha 2

Tab. 27 Parametry Fiat Punto Mk. I	
Tab. 28 Opel Corsa B	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Zážehový motor z Porsche 911	11
Obr. 2 Kapalinové tření	12
Obr. 3 Princip hydrodynamického mazání	13
Obr. 4 Mezní, polosuché tření	13
Obr. 5 Suché tření	14
Obr. 6 Mazání s mokrou skříní	15
Obr. 7 Mazání se suchou skříní	16
Obr. 8 Excentrické zubové čerpadlo	17
Obr. 9 Klasické zubové čerpadlo	18
Obr. 10 Schéma mazací soustavy s olejovým filtrem	19
Obr. 11 Plnopřítokový filtr typu SPIN-ON	20
Obr. 12 Ventily v olejových filtrech typu SPIN-ON	21
Obr. 13 Klikový hřídel v řezu	22
Obr. 14 Vstřikovací systém čerpadlo-tryska	23
Obr. 15 Volba viskozitní třídy motorového oleje dle okolní teploty	25
Obr. 16 Chladicí okruh	31
Obr. 17 Suchý vložený válec (vlevo) mokřý vložený válec (vpravo)	33
Obr. 18 Vyhodnocení kapkové zkoušky	37
Obr. 19 Abrazivní opotřebení	38
Obr. 20 Adhezivní opotřebení	39
Obr. 21 Erozivní opotřebení	39
Obr. 22 Kavitační opotřebení	40
Obr. 23 Únavové opotřebení	40
Obr. 24 Vibrační opotřebení	41
Obr. 25	41
Obr. 26 Nedostatečné mazání vlivem nízkého tlaku oleje	42
Obr. 27 Optimální distribuce maziva	43
Obr. 28 Abrazivní opotřebení pístu	43
Obr. 29 Opotřebení pístu chodem „na sucho“	44
Obr. 30 Opotřebení válce chodem „na sucho“	44
Obr. 31 Prasknutí pístu vlivem přehřátí	44

Obr. 32 Palce vačky ovládající sdružený vstřikovač. opotřebený (vlevo) nový (vpravo).	45
Obr. 33 Opotřebený ojnicí čep klikového hřídele (vlevo); ojnicí ložiskové pánve (vpravo)	46
Obr. 34 Teplota 5 minut	47
Obr. 35 Teplota 10 minut	47
Obr. 36 Teplota 15 minut	48
Obr. 37 Úlomky ložiskových pánvi v oleji	49
Obr. 38 Zbytky znečištěného oleje	49
Obr. 39 Ložiskové pánve. Opotřebená (vlevo) nová (vpravo)	50
Obr. 40 Opotřebený čep klikového hřídele	50
Obr. 41 Poškozené těsnění pod hlavou válců	51
Obr. 42 Poškození vlivem přehřátí	52
Obr. 43 Poškozená hlava válců motoru MZ-CD	53
Obr. 44 Vstřikovač Denso	54
Obr. 45 Opotřebená těsnicí plocha pro vstřikovač	54
Obr. 46 Abrasivní opotřebení pístu vlivem přehřátí	55
Obr. 47 Škoda Octavia I	56
Obr. 48 Motor 1.8i 92 kW s pevnou délkou sání	57
Obr. 49 Únik nespáleného oleje z výfukového potrubí	57
Obr. 50 Přístrojový panel Škoda Octavia	58
Obr. 51 Destrukce spodního víka motoru patou ojnice	60
Obr. 52 Detailní pohled na poškozené spodní víka motoru	60
Obr. 53 Fragменты pístu	61
Obr. 54 Ojnice	61
Obr. 55 Deformované víko ojnice	61
Obr. 56 Ojnicí šrouby	61
Obr. 57 Opotřebený ojnicí čep druhého válce	62
Obr. 58 Motor po demontáži spodního víka motoru	62
Obr. 59 Vačkové hřídele	63
Obr. 60 Honda Civic Mk. V	63
Obr. 61 Motor Honda 1.4i provozovaný LPG	64
Obr. 62 Příprava na vypuštění oleje	64
Obr. 63 Únik dýmu v okamžiku destrukce motoru	65
Obr. 64 Záběr z termokamery motor Honda	65
Obr. 65 Poškozený blok motoru	66
Obr. 66 Alfa Romeo 147	66
Obr. 67 Exhalace výfukových plynů Alfa Romeo 147	67

Obr. 68 Příprava na test	68
Obr. 69 Vytvořený výpustný otvor v převodové skříni	68
Obr. 70 Víko převodové skříně	69
Obr. 71 Převodové stupně	70
Obr. 72 Snímek z termokamery, převodová skříň	71
Obr. 73 Nissan Sunny	71
Obr. 74 Motor Nissan CD20	71
Obr. 75 Přístrojová deska po ukončení testu	73
Obr. 76 Záběr z termokamery motor Nissan	73
Obr. 77 Poškozené drážkování hnané hřídele a vložené kolo	75
Obr. 78 Otvor ve spodním víku motoru (vlevo). Poškozená ojnice zachycena na vozovce (vpravo)	78

Příloha 1

Obr. 79 Volkswagen Polo III.
Obr. 80 Renault Megane Mk. I
Obr. 81 Opel Corsa B
Obr. 82 Ford Escort Mk. VI
Obr. 83 Rover 600
Obr. 84 Volkswagen Golf III.
Obr. 85 Ford Mondeo Mk. I
Obr. 86 BMW E36 318i
Obr. 87 Daewoo Lanoos

Příloha 2

Obr. 88 Fiat Punto Mk. I
Obr. 89 Opel Corsa B

SEZNAM ZKRATEK

ACEA – (Association des Constructeurs Européens Automobile) - evropská asociace výrobců automobilů

API – (American Petroleum Institute) – americký ropný výzkumný institut

ATF – (Automatic Transmission Fluid) – provozní kapalina pro automatické převodovky

DI – (Direct Injection) – přímé vstřikování paliva

DOHC – (Double Over Head Camshaft) – dvě vačkové hřídele umístěné v hlavě motoru

DPF – (Diesel Particle Filter) - filtr pevných částic pro vznětové motory

EGR – (Exhaust Gas Recirculation) – recirkulace výfukových spalin

FAP – (Filtre a Particules) – filtr pevných částic

GPF – (Gasoline Particle Filter) – filtr pevných částic pro zážehové motory

HTHS – (High Temperature High Shear Viscosity) - dynamická viskozita

LPG – (Liquified Petroleum Gas) - zkapalněný ropný plyn

OHV – (Over Head Valve) – vačkový hřídel umístěný v bloku motoru

PD – (Pumpe-Düse)/(čerpadlo, tryska) – sdružený vstřikovač pro vznětové motory

SAE – (Society of Automotive Engineers) – sdružení odborníků z letecké a automobilové oblasti

SAPS – (Sulphated Ash, Phosphorus, Sulphur) – sulfátový popel, fosfor, síra

SCR NOx – (Selective catalytic reduction nitrogen oxides) – selektivní katalytická redukce oxidů dusíku

SOHC – (Single Over Head Camshaft) – jedna vačková hřídel umístěná v hlavě motoru

TDI – (Turbocharged Direct Injection) – přeplňovaný vznětový motor s přímým vstřikováním

TWC – (Three Way Catalyst) – trojčinný katalyzátor

VW – (Volkswagen AG) – koncern výrobce automobilů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Automobily testované na dobu provozu bez olejové náplně (počet stran: 3)

Příloha 2: Automobily testované na dobu provozu bez chladící kapaliny (počet stran: 1)

PŘÍLOHA 1

Automobily testované na dobu provozu bez olejové náplně



Obr. 79 Volkswagen Polo III. [60]

Tovární značka	Volkswagen
Model	Polo III.
Motor / počet válců	1.6 MPI / R4
Objem	1 598 cm ³
Plnění	Atmosférické
Typ motoru	Zážehový
Výkon	55 kW
Točivý moment	125 Nm
Produkce	1994–1999

Tab. 18 Parametry VW Polo III. [71]



Obr. 80 Renault Megane Mk. I [61]

Tovární značka	Renault
Model	Megane Mk. I
Motor / počet válců	1.6 / R4
Objem	1 598 cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	55 kW
Točivý moment	130 Nm
Produkce	1995–2002

Tab. 19 Parametry Renault Megane I. [72]



Obr. 81 Opel Corsa B [62]

Tovární značka	Opel
Model	Corsa B
Motor / počet válců	1.2 / R4
Objem	1196 cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	33 kW
Točivý moment	75 Nm
Produkce	1993–2000

Tab. 20 Parametry Opel Corsa B [73]



Obr. 82 Ford Escort Mk. VI [63]

Tovární značka	Ford
Model	Escort Mk. VI
Motor / počet válců	1.6 16V / R4
Objem	1 597 cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	66 kW
Točivý moment	135 Nm
Produkce	1995–2000

Tab. 21 Parametry Ford Escort Mk. VI [74]



Obr. 83 Rover 600 [64]

Tovární značka	Rover
Model	600
Motor / počet válců	- / R4
Objem	- cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	- kW
Točivý moment	- Nm
Produkce	1995–2000

Tab. 22 Parametry Rover 600 [75]



Obr. 84 Volkswagen Golf III. [65]

Tovární značka	Volkswagen
Model	Golf III.
Motor / počet válců	1.6 MPi / R4
Objem	1 598 cm ³
Plnění	Atmosférické
Typ motoru	Zážehový
Výkon	55 kW
Točivý moment	125 Nm
Produkce	1991–1999

Tab. 23 Parametry Volkswagen Golf III. [76]



Obr. 85 Ford Mondeo Mk. I [66]

Tovární značka	Ford
Model	Mondeo Mk. I
Motor / počet válců	1.8i / R4
Objem	1796 cm ³
Plnění	Atmosférické
Typ motoru	Zážehový
Výkon	85 kW
Točivý moment	135 Nm
Produkce	1996–2000

Tab. 24 Parametry Ford Mondeo Mk. I [77]



Obr. 86 BMW E36 318i [67]

Tovární značka	BMW
Model	E36; 318i
Motor / počet válců	M43/ R4
Objem	1796 cm ³
Plnění	Atmosférické
Typ motoru	Zážehový
Výkon	85 kW
Točivý moment	168 Nm
Produkce	1993–1998

Tab. 25 Parametry BMW E36 318i [78]



Obr. 87 Daewoo Lanoos [68]

Tovární značka	Daewoo
Model	Lanoos
Motor / počet válců	E-TEC/R4
Objem	1498 cm ³
Plnění	Atmosférické
Typ motoru	Zážehový
Výkon	63 kW
Točivý moment	130 Nm
Produkce	1996 - 2002

Tab. 26 Parametry Daewoo Lanoos [79]

PŘÍLOHA 2

Automobily testované na dobu provozu bez chladicí kapaliny



Obr. 88 Fiat Punto Mk. I [69]

Tovární značka	Fiat
Model	Punto Mk. I
Motor / počet válců	- / 4
Objem	- cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	- kW
Točivý moment	- Nm
Produkce	1994–1994

Tab. 27 Parametry Fiat Punto Mk. I [80]



Obr. 89 Opel Corsa B [70]

Tovární značka	Opel
Model	Corsa B
Motor / počet válců	1.2 / 4
Objem	1196 cm ³
Plnění	Atmosférický
Typ motoru	Zážehový
Výkon	33 kW
Točivý moment	75 Nm
Produkce	1993–2000

Tab. 28 Opel Corsa B [73]